

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE**  
**LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



**Département de Génie de l'environnement**

***Projet de fin d'étude***

***En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie de***  
***l'environnement***

**THÈME**

**Contribution à l'étude de la pollution**  
**atmosphérique par les BTEX à Alger**

***Proposé et dirigé par :***

**Mr. R.KERBACHI**

**Mr. Y.KERCHICH**

**Pr. ENP**

**C.C. université de Médéa**

***Etudié par :***

**Mr. HADJ KALI Hocine**

***Président du jury :***

**Mme. N.ABDI**

**M.C. ENP**

***Jurys :***

**Mme. J.ARRAR**

**Mme. F.BOUMECHHOUR**

**M.C. ENP**

**M.A. Université de Boumerdès**

***Promotion 2008***

## *Remerciements*

Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire des sciences et techniques de l'environnement (LSTE) du département de Génie de l'environnement de l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP) sous la direction du **Pr. R.KERBACHI**, à qui j'éprouve toute ma gratitude pour sa gentillesse, sa disponibilité, sa patience et pour ses directives judicieuses tout au long de ce travail.

Je tiens vivement à remercier mon Co-promoteur Monsieur **Y.KERCHICH**, pour ses conseils, son aide et orientations tout au long de ce travail.

Ma reconnaissance va à l'égard de madame **N.ABDI**, pour avoir bien voulu présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à M<sup>elle</sup> **J.ARRAR** et M<sup>elle</sup> **F.BOUMECHHOUR**, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je remercie aussi respectueusement tous les enseignants du département Génie de l'environnement qui ont participé à ma formation, ainsi que tous les étudiants en post graduation qui m'ont toujours soutenu.

Je tiens à remercier particulièrement mes camarades de promotion, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents en témoignage pour leur amour et leurs sacrifices sans limites.

A mes frères et sœurs : Hamid, Mohamed, Soumia et Khadîdja.

A mes beaux frères et belles sœurs : Fayçal, Mourad, Karima et Chahnez.

A mes neveux et nièces : Abderrahmane, Saber, Amine, Abdoullah, Khawla, Tasnim, Mouna, Yousra et Safiya.

A mes oncles, mes tantes, cousins et cousines ainsi qu'à toute ma famille et tous mes amis.

**TABLE DES MATIERES**

<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Généralité sur la pollution de l'air par les BTEX .....</b>	<b>03</b>
I.1. Pollution de l'air par les COV .....	03
I.1.1. Définition des COV .....	03
I.1.2. Propriétés des COV .....	03
I.1.3. Nature et source des COV .....	04
a. Les sources fixes.....	04
b. Les sources mobiles .....	04
I.2. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques .....	05
I.3. Les BTEX .....	06
I.3.1. Benzène.....	06
I.3.2. Toluène .....	10
I.3.3. Ethylbenzène.....	12
I.3.4. Xylène .....	14
<b>Chapitre II: Techniques de prélèvement et analyse des BTEX .....</b>	<b>17</b>
II. Les méthodes de prélèvement et d'analyse des BTEX .....	17
II.1. Mesure automatique des BTEX.....	17
II.2. Mesure manuelle des BTEX.....	18
II.2.1. Prélèvement d'air complet .....	18
II.2.2. Prélèvement par adsorption .....	18
II.2.2.1. Adsorption active.....	18
II.2.2.2. Adsorption passive .....	19
a. Tube axial .....	19
b. Tube radial.....	20
c. Les adsorbants .....	21
II.2.2.3. La récupération de l'échantillon .....	22
a. Extraction par solvant.....	22
b. Désorption thermique.....	22

II.2.3. Les techniques de séparation et d'analyse.....	23
a. Chromatographie en phase gazeuse.....	23
b. Spectrométrie de masse.....	23
<b>Chapitre III : Méthodologie .....</b>	<b>25</b>
III.1. Classification et critères d'implantation des sites .....	25
III.2. Les sites de prélèvement .....	26
a. Sites urbains de proximité .....	26
b. Sites urbains de fond .....	27
c. Site semi-rural.....	27
III.3. La technique de prélèvement utilisée .....	29
III.3.1. Les composants de Radiello .....	29
III.3.2. Principe de fonctionnement de l'échantillonneur diffusif .....	31
III.3.3. Désorption de l'échantillon.....	33
III.3.4. Analyse des échantillons .....	33
III.4. Les campagnes de mesure .....	34
1. Dans le tunnel .....	34
2. Sites urbains de fond et de proximité .....	34
<b>Chapitre IV : Résultats et discussions .....</b>	<b>35</b>
IV.1. Etude des BTEX dans l'air ambiant de la localité d'Alger .....	35
IV.1.1. Chromatogramme GC des BTEX .....	35
IV.1.2. Teneurs atmosphériques en BTEX.....	37
a. Sites urbains de proximité .....	43
b. Sites urbains de fond .....	44
c. Site semi-rural .....	45
IV.1.3. Composition massique des BTEX .....	46
IV.1.4. Rapport et corrélation entre les BTEX.....	47
IV.2. Comparaison des teneurs mesurées avec d'autres résultats.....	48
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>51</b>
<b>Bibliographie.</b>	
<b>Annexe.</b>	

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure N°01:</b> Sources des COV en Allemagne .....	04
<b>Figure N°02:</b> Structure des isomères xylènes .....	14
<b>Figure N°03:</b> Schéma d'un appareil CPG .....	17
<b>Figure N°04:</b> Schéma de principe d'adsorption active .....	19
<b>Figure N°05:</b> Principe du tube passif axial .....	20
<b>Figure N°06:</b> Principe du tube passif radial .....	20
<b>Figure N°07:</b> Schéma récapitulatif .....	24
<b>Figure N°08:</b> Poste de prélèvement du site S <sub>1</sub> .....	28
<b>Figure N°09:</b> poste de prélèvement du site S <sub>7</sub> .....	28
<b>Figure N°10:</b> Localisation des différents sites de prélèvement des BTEX .....	29
<b>Figure N°11:</b> Cartouche adsorbante .....	30
<b>Figure N°12:</b> Le corp diffusif pour BTEX .....	30
<b>Figure N°13:</b> La plaque de support .....	31
<b>Figure N°14:</b> L'échantillonneur diffusif .....	32
<b>Figure N°15:</b> L'échantillonneur à diffusion radial .....	33
<b>Figure N°16:</b> Chromatogramme GC d'un blanc .....	35
<b>Figure N°17:</b> Chromatogramme GC d'un échantillon prélevé au site S <sub>1</sub> .....	36
<b>Figure N°18 (a):</b> Variation des teneurs atmosphériques en benzène .....	39
<b>Figure N°18 (b):</b> Variation des teneurs atmosphériques en toluène .....	39
<b>Figure N°18 (c):</b> Variation des teneurs atmosphériques en ethylbenzène .....	40
<b>Figure N°18 (d):</b> Variation des teneurs atmosphériques en m-xylène .....	40
<b>Figure N°18 (e):</b> Variation des teneurs atmosphériques en o-xylène .....	41
<b>Figure N°18 (f):</b> Variation des teneurs atmosphériques en p-xylène .....	41
<b>Figure N°18 (g):</b> Variation des teneurs atmosphériques BTEX totaux .....	42
<b>Figure N°19:</b> Classification des sites par pollution croissante en BTEX totaux .....	45
<b>Figure N°20:</b> Comparaison des pourcentages des BTEX .....	47
<b>Figure N°21:</b> Corrélation entre le toluène et le benzène .....	48

### LISTE DES ABREVIATIONS

**COV** : Composé organique volatil ;

**HAM** : Hydrocarbure aromatique monocyclique ;

**BTEX** : benzène, toluène, ethylbenzène, xylène ;

**CIRC** : Centre International de Recherche sur le Cancer ;

**CPG** : Chromatographie en phase gazeuse ;

**COVNM** : Composé organique volatil non méthanique ;

**HCNM** : Hydrocarbure non méthanique ;

**ERU** : Excès de risque unitaire ;

**RU** : Risque unitaire ;

**CE** : Commission Européenne ;

**OMS** : Organisation mondiale de santé ;

**SM** : Spectrométrie de masse ;

**USEPA** : Union de la Santé et Protection de l'Environnement.

# *INTRODUCTION GENERALE*

## **INTRODUCTION**

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est définie comme étant une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique. On compte aujourd'hui des dizaines de milliers de molécules différentes, polluants avérés ou suspectés qui, pour beaucoup, agissent en synergie entre eux et avec d'autres paramètres. Le phénomène de pollution de l'air a pris aujourd'hui une ampleur sans précédent.

L'atmosphère terrestre est un immense réacteur chimique qui ne cesse de subir des modifications. Les importants progrès du savoir scientifique depuis 1990, notamment en ce qui concerne l'analyse des données de l'air ambiant et la caractérisation de la pollution atmosphérique, ont permis la mise en évidence de beaucoup de polluants comme les particules, l'ozone, les NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, hydrocarbures ...etc.

Les composés organiques volatils (COV) sont une classe très importante des polluants atmosphériques, ces COV renferment une forte proportion en hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM), principalement le benzène et ses homologues supérieurs, le toluène, ethylbenzène et le xylène dans ses trois isomères. Parmi ces composés qu'on désigne le plus souvent par le terme BTEX, 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 BTEX 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) [1].

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

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 des BTEX.

Devant cette situation, et dans le cadre d'un vaste programme de recherche sur la pollution atmosphérique, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de cette dernière par les BTEX dans la localité d'Alger.

L'étude a été effectuée au niveau de sept sites de prélèvement pendant trois campagnes, il s'agit de quatre sites urbains de proximités (place Audin, Bab El Oued, El Harrach, et le Tunnel de Oued Ouchayeh), deux sites urbains de fond (ENP et Hôpital Mustapha) et enfin un site semi rural (Bouzaréah).

Les prélèvements ont été réalisés par la méthode de l'échantillonnage passif au moyen de tube radial (de type Radiello) avec le charbon actif comme adsorbant. L'analyse qualitative et quantitative a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse (CPG).

*CHAPITRE I*

*GENERALITES SUR LA POLLUTION  
DE L'AIR PAR LES BTEX*

## I.1. Pollution de l'air par les COV

### I.1.1. Définition des COV

Est considéré comme COV tout composé qui, à l'exclusion du méthane, contient du carbone et de l'hydrogène, lequel peut être substitué par d'autres atomes comme l'oxygène, l'azote, le soufre, les halogènes, en particulier le chlore ou le fluor, mais sont exclus les oxydes de carbone et les carbonates [2].

Ces composés se trouvent à l'état de gaz ou de vapeur dans les conditions normales de température et de pression [2].

Cette définition très large est complétée par un critère physique à savoir la pression de vapeur saturante qui est supérieure à 10 Pa (0,075 mm de Hg) à la température de 20 °C et à la pression atmosphérique ( $1,013 \times 10^5$  Pa ou 760 mm de Hg) [2].

Quelques restrictions aux définitions précédentes peuvent être émises. Ainsi, le méthane peut être exclu des COV du fait de sa provenance de sources différentes (agricoles et naturelles), des flux importants émis dans l'atmosphère et d'une comptabilisation spécifique. En outre, son influence sur l'environnement est différente (effet de serre) de celle des COV qui, eux, ont plus spécifiquement un impact sur la pollution photochimique. On parle alors de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) ou parfois, de façon un peu trop globale, d'hydrocarbures non méthaniques (HCNM) [2].

### I.1.2. Propriétés des COV

Les COV se caractérisent par :

- Une tension de vapeur à 0,13 Pa (à 0°C).
- Une homogénéité et une réactivité suffisante avec l'atmosphère pour pouvoir participer à des réactions photochimiques, donc susceptibles d'intervenir dans des phénomènes de Smog, de dépérissement forestier et effet de serre [3].

Plus généralement trois grandes familles de produits sont discernables en fonction de leur température d'ébullition:

- Les COV avec température d'ébullition ( $T_{\text{ébl.}}$ )  $< 150 - 200^\circ\text{C}$  ;
- Les semi volatils:  $200 < T_{\text{ébl.}} < 500^\circ\text{C}$  ;
- Les lourds:  $T_{\text{ébl.}} > 500^\circ\text{C}$ .

### I.1.3. Nature et source des COV

Il s'agit des hydrocarbures aliphatiques saturés (alcanes), insaturés (alcènes et acétyléniques), oxygénés (aldéhydes) et aromatiques monocycliques (HAM). Ils sont essentiellement associés à la phase volatile.

Les émissions artificielles des COV ont pour origine deux principales sources :

#### a- Les sources fixes :

Il s'agit des processus de production, de stockage et de transport des produits de l'industrie du pétrole (principalement l'essence) et des pertes de solvants organiques dans les processus industriels qui les emploient ; d'autre part, les COV peuvent être relégués à l'intérieur des locaux à partir des matériaux de mobilier, de peinture ou revêtement divers, ou provenir d'activités humaines [4].

Un exemple de l'Allemagne est illustré dans la figure N°01.

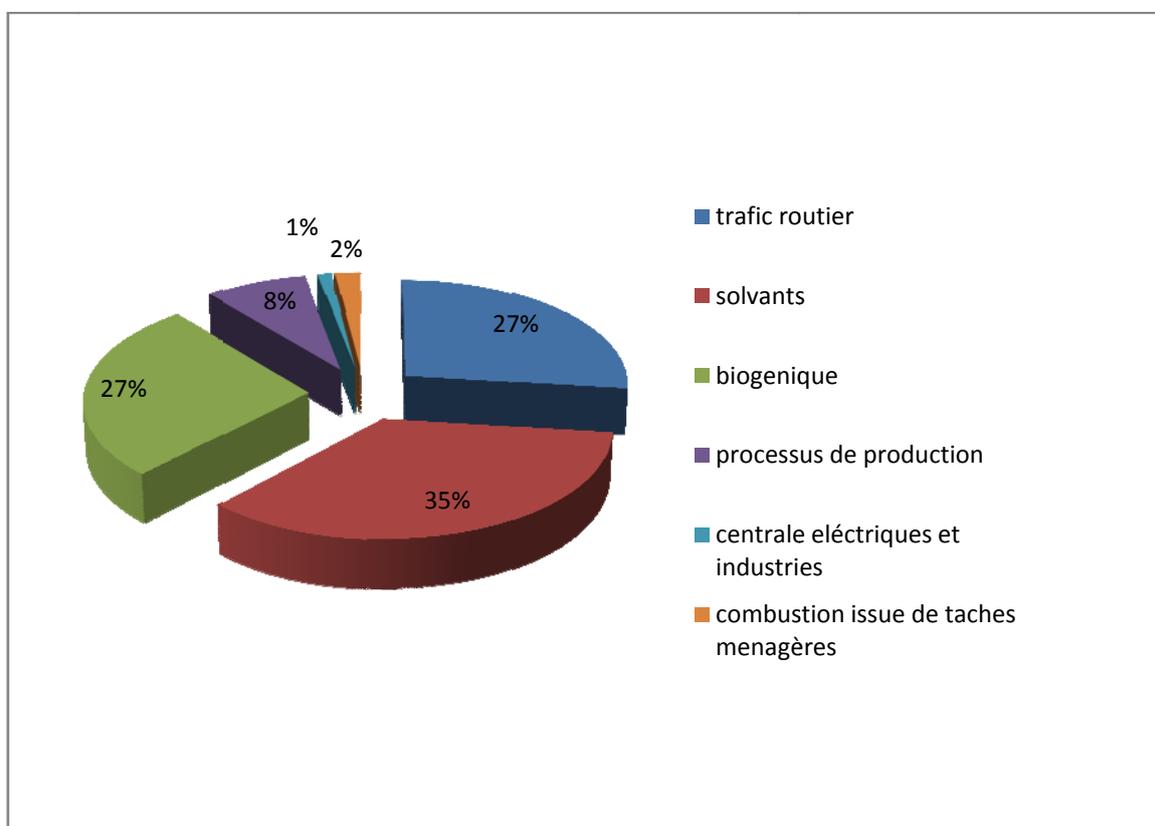


Figure N°01 : source des COV en Allemagne [5].

**b- Les sources mobiles : contribution du trafic routier.**

Ce phénomène est avant tout un phénomène urbain. Son ampleur varie avec le degré de motorisation des pays et pour un même pays avec l'intensité de la circulation suivant les régions.

La présence des COV dans les effluents des véhicules automobiles est due à la combustion de la matière avec oxydation incomplète. Les émissions varient en fonction de leurs paramètres tels que le régime du moteur et sa température, l'entretien du véhicule, l'existence éventuelle d'un pot catalytique...

On estime qu'environ 50 à 60% des hydrocarbures émis dans l'atmosphère des grandes villes sont imputables au trafic routier [6].

En plus des émissions provenant des imbrûlés libérés par les pots d'échappement il faut y ajouter celles provenant de l'évaporation. Les carburants (très volatils) constituent une source importante d'évaporation à partir des réservoirs de voitures et des pertes occasionnées lors de l'alimentation en carburant des automobilistes au niveau des stations.

Nous présentons dans le tableau N°01, les taux d'émissions de COV imputables au trafic routier dans deux pays de l'Europe.

**Tableau N°01 : Emissions de COV issues du trafic routier**

<b>Pays</b>	<b>Année</b>	<b>COV (t/an)</b>	<b>Total COV %</b>	<b>Réf</b>
Suisse	95	48 700	25%	[7]
France	94	110 000	40%	[6]

**I.2. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)**

Les HAM, en particulier le benzène, toluène, éthylbenzène, méta-xylène, para-xylène, et ortho-xylène, constituent au sein des COV une famille importante de polluants.

Leur contribution à la pollution automobile risque d'augmenter progressivement en raison de l'utilisation croissante de carburant sans plomb [8]. Une étude effectuée sur 14 carburants distribués en France, montre l'augmentation de ces teneurs pour les carburants sans plomb par rapport aux carburants plombés (tableau N°02) [8].

Tableau N°02 : Composition des carburants en benzène et HAM [6].

Type de carburant	Moyenne		Minimum		Maximum		Rapport Aromatique/benzène
	Benzène	Aromatique	Benzène	Aromatique	Benzène	Aromatique	
<b>Carburant avec plomb</b>	1,5 %	32,3 %	0,4 %	25,8 %	2,7 %	38,3 %	25,5
<b>Carburants sans plomb</b>	2,3%	43,2%	0,4%	29,9%	5%	56,6%	18,8

### I.3. Les BTEX

Les BTEX (benzène, toluène, ethylbenzène, ortho-, méta-, para-xylène) sont des composés très utilisés dans le milieu industriel, mais également dans le secteur de l'automobile [9].

Si le benzène est depuis longtemps reconnu pour son caractère toxique en milieu professionnel, une étude américaine semble incriminer l'exposition chronique, même modérée, dans l'augmentation sensible des cas de leucémies myéloïdes chez les adultes ces dernières années dans les grandes villes [9].

En ce qui concerne les autres composés des BTEX, leurs toxicités étant plus faibles, moins d'études ont été menées à ce jour. Leur mesure est certainement plus intéressante en proximité industrielle qu'en niveau de fond, mais elle n'est peut-être pas négligeable pour autant [9].

#### a- Benzène

##### a.1. Définition

Le benzène ( $C_6H_6$ ) est un liquide volatil, avec une odeur aromatique (seuil de détection olfactif entre 1,5 et 4,7 ppm). En fonction de l'environnement, du climat et de la concentration d'autres polluants sa durée de vie dans l'atmosphère varie de quelques heures à quelques jours. La réaction avec les radicaux d'hydroxyle est sa voie de dégradation la plus importante mais il peut être aussi lessivé dans l'air par la pluie (légèrement soluble dans l'eau) [10]. Il est miscible dans de nombreux solvants organiques et constitue un excellent solvant des composés organiques non ou peu polaires [11].

### a.2. Origine

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 [12,13].

Il est obtenu :

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

### a.3. Utilisation

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 [14].

Les autres emplois du benzène sont principalement :

- 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 [15] :
- 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.

### a.4. Sources d'émission

Il peut être émis lors de la synthèse chimique d'hydrocarbures aromatiques substitués (Ethylbenzène, phénol, cyclohexane...) et par les fours de cokerie. Outre ces sources industrielles, le benzène est présent naturellement dans le pétrole brut et l'essence. Les sources majeures d'émission sont les gaz d'échappement automobile mais également l'évaporation de l'essence pendant son stockage, son transport et sa distribution. La combustion du bois et

d'énergies fossiles peut contribuer également à l'émission de benzène ainsi que les activités volcaniques [10].

#### **a.5. Effet sur la santé**

Chez l'homme la voie d'exposition majoritaire pour le benzène est l'inhalation. La moitié de la quantité inhalée est absorbée. L'absorption cutanée est possible ( $0.4\text{mg}/\text{cm}^2/\text{h}$ ) mais demeure une source secondaire d'exposition [16].

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 [1].

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 [17-19].

L'ensemble des études montre que le système hématopoïétique apparaît comme l'organe cible lors de l'exposition au benzène. Une pan cytopénie est observée pour des expositions à des concentrations comprises entre 210 et 640 ppm pour des périodes comprises en 4 mois et 15 ans [18].

Des effets plus divers comprenant un pré leucémie 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. 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, pré leucémie) [20].

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 dû 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 [21].

### a.6. Normes et directives

En Algérie les carburants essences 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 [22].

Dans ses objectifs de qualité de l'air pour l'an 2010, la commission Européenne (CE) a en partenariat avec les industries automobiles et pétrolières (Programme Auto-Oil) fixé pour le benzène un seuil de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (moyenne horaire à ne pas dépasser) [23].

Le tableau N°03 présente les normes de benzène.

**Tableau. N° 03. Résumé des teneurs limites en benzène adoptées par certains pays**

Pays	Valeur limite	Objectif de qualité	Observation	Réf
France	$10\mu\text{g}/\text{m}^3$		Moyenne annuelle jusqu'à 2005 Puis dégressif de $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ par an jusqu'à 2010	[24]
	$5\mu\text{g}/\text{m}^3$		Moyenne annuelle à partir de 2010	[24]
		$2\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne annuelle	[25]
Allemagne	$10\mu\text{g}/\text{m}^3$		Moyenne annuelle à partir de 1998	[26]
Pays-Bas	$10\mu\text{g}/\text{m}^3$	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne annuelle	[27]
Union Européenne	$5\mu\text{g}/\text{m}^3$		Moyenne annuelle	[28]
Angleterre	5ppb ( $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 ppb ( $3,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Moyenne annuelle	[6]
Australie	5ppb ( $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Moyenne annuelle	[29]
OMS et USA	Pas de seuil limite mais des indicateurs des risques unitaires			

### b- Toluène

#### b.1. Définition

Le toluène ( $C_6H_5-CH_3$ ) est un liquide non corrosif et volatil avec une odeur aromatique (seuil de détection olfactif varie considérablement, moyenne géométrique de 11 ppm). A cause de sa haute volatilité et de sa faible solubilité dans l'eau, la plupart du toluène contenu dans les eaux se volatilise rapidement dans l'atmosphère. C'est l'hydrocarbure le plus abondant dans la troposphère où sa réaction avec les radicaux hydroxyles est le mécanisme principal de sa destruction (durée de vie de plusieurs jours l'été à plusieurs mois l'hiver) [10].

### **b.2. Origine**

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% [12,30].

### **b.3. Utilisation**

Le toluène sert à élever l'indice d'octane dans les carburants. Il sert également de solvant pour les peintures. On s'en sert comme produit de départ pour divers procédés industriels: la synthèse du caoutchouc, du phénol, du TNT, du dis cyanate de toluène nécessaire pour obtenir la mousse de polyuréthane. On s'en sert également dans l'imprimerie, les adhésifs, les laques, et le tannage du cuir. Mais la principale utilisation du toluène est la production du benzène par le procédé d'hydrodésalkylation [31].

### **b.4. Sources d'émission**

La plus grande source d'émission est l'usage d'essence. Les usages domestiques de peintures, diluant et la fumée de cigarette représentent les sources principales de toluène dans les environnements intérieurs [10].

### **b.5. Effet sur la santé**

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 [32].

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 [33]. 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 [34].

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 [35].

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/m<sup>3</sup>, 6 heures par jour, pendant 4 jours [36]. 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/m<sup>3</sup> [37,38].

En plus des effets neurologiques, on rapporte que les travailleurs de sexe féminin exposés à des teneurs de 332 mg/m<sup>3</sup> encourent le risque d'avortement spontané [39]. 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 332 mg/m<sup>3</sup> [21].

#### **b.6. Normes et directives**

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 mg/m<sup>3</sup> (1 ppm) comme moyenne hebdomadaire. La valeur guide sur courte durée, moyenne et semi horaire est de 1 mg/m<sup>3</sup> [21].

## c- Ethylbenzène

### c.1. Définition

L'éthylbenzène ( $C_2H_5-C_6H_5$ ) est un liquide sans couleur qui sent comme l'essence (seuil olfactif 2 ppm), il s'évapore à la température ambiante et les vapeurs sont plus lourdes que l'air. Il se dégrade par réaction photochimique dans l'atmosphère (demi-vie de 5,5 heures en été et 24 heures en hiver) [10].

### c.2. Origine

L'éthylbenzène est produit essentiellement par alkylation du benzène avec de l'éthylène. Deux procédés peuvent être utilisés :

- Alkylation de la phase liquide,
- Alkylation de la phase vapeur.

L'alkylation de la phase liquide est opérée en présence de chlorure d'aluminium. Le chlorure d'éthylène ou l'acide chlorhydrique utilisé comme promoteur permet de réduire la consommation de chlorure d'aluminium. L'éthylbenzène est produit en grande partie avec ce procédé.

L'alkylation de la phase vapeur (procédé "Alkar") permet d'obtenir de l'éthylbenzène de pureté élevée. Le tri fluorure de bore est utilisé comme catalyseur. Ce procédé permettant d'utiliser une alimentation relativement pauvre en éthylène (une fraction molaire de 8 à 10 % suffit) est adapté à l'utilisation de flux gazeux provenant de raffineries et de fours à coke. Une autre méthode d'alkylation de la phase vapeur (procédé "Mobil-Badger") utilisant essentiellement de la silice et de l'alumine comme catalyseurs peut également utiliser une alimentation peu concentrée en éthylène [40].

### c.3. Utilisation

L'éthylbenzène est principalement utilisé pour la fabrication du styrène employé pour produire du polystyrène, des matières plastiques, des résines et du caoutchouc synthétique.

Il est utilisé comme solvant pour les peintures et les laques. Il sert d'autre part d'intermédiaire chimique pour la fabrication du diéthylbenzène, de l'acétophénone, de l'éthyle-anthraquinone, de l'oxyde de propylène et de diverses substances.

Il est ajouté à l'essence automobile (environ 2 % en poids) pour son rôle antidétonant. Il entre également dans la composition des carburants pour l'aviation [40].

#### **c.4. Sources d'émission**

L'éthylbenzène est présent dans les huiles brutes, dans les produits pétroliers raffinés et dans les produits de combustion.

Il entre dans l'atmosphère principalement à partir d'émissions liées au trafic automobile.

La production et les utilisations industrielles d'éthylbenzène constituent également des sources d'exposition importantes.

Les autres sources d'exposition de l'environnement à l'éthylbenzène sont les émissions provenant du raffinage du pétrole, les pertes par évaporation et les fuites d'essence ou de fioul lors du transport et du stockage de ces carburants, les émissions liées à la préparation et au transport d'asphalte chaud destiné aux revêtements routiers, les rejets des incinérateurs.

Du fait de sa tension de vapeur élevée, l'éthylbenzène est principalement présent dans l'atmosphère [40].

#### **c.5. Effet sur la santé**

Le principal effet des vapeurs d'éthylbenzène est l'irritation des yeux, du nez et des muqueuses à des concentrations d'environ 200 ppm. Les concentrations les plus élevées peuvent entraîner une dépression du système nerveux central et des atteintes transitoires hépatiques et rénales [40].

#### **d- Xylène**

### d.1. Définition

Les xylènes sont des composés aromatiques monocycliques constitués de deux groupes méthyles liés à un cycle benzénique (formule :  $C_6H_4(CH_3)_2$ ). 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) [41].

### d.2. Structure et représentation

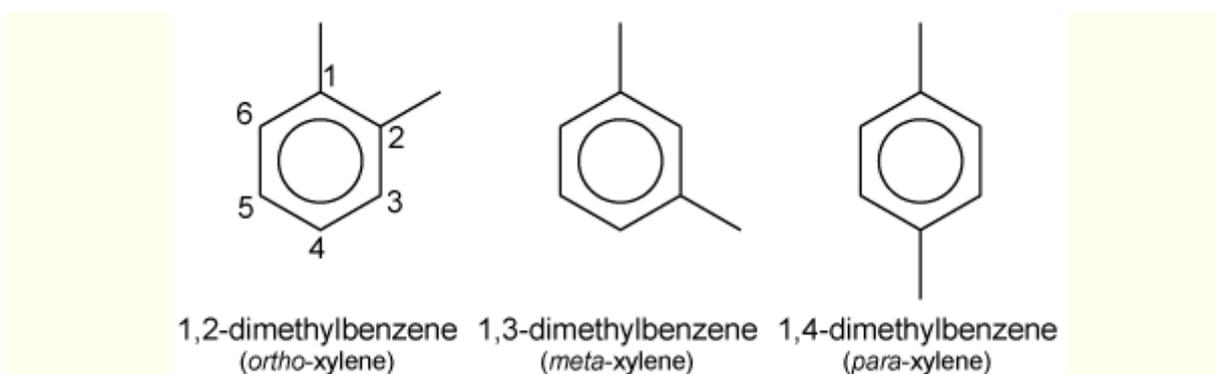


Figure N°02 : structure des isomères Xylène [42].

### d.3. Origine

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 [43].

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 [44].

### d.4. Utilisation

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 [43].

#### **d.5. Sources d'émission**

Les xylènes ne sont pas présents naturellement dans l'environnement, excepté dans la fumée des feux de forêt.

Les sources anthropiques de xylènes sont le raffinage du pétrole et l'utilisation de dissolvants. Il est également présent dans les gaz d'échappement automobile et est émis par évaporation pendant le transport et la distribution d'essence. Les biogaz issus de la décomposition de déchets industriels et municipaux peuvent contenir également des xylènes [10].

#### **d.6. Effet sur la santé**

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.) [45].

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 [46].

#### **d.7. Normes et directives**

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.

## *CHAPITRE II*

*TECHNIQUES DE PRÉLEVEMENT ET*

*D'ANALYSE DES BTEX*

## II. Les méthodes de prélèvement et d'analyse des BTEX

Pendant très longtemps, les mesures des Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM) en général et des BTEX 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 dans les stations de mesure [47].

Nous présentons dans ce qui suit les différentes méthodes de prélèvement et leurs principes d'analyses.

### II.1. Mesure automatique des BTEX

Pour le prélèvement et dosage quasi-instantané et en continu des BTEX, on utilise un appareil récemment développés qui 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.

Dans la configuration la plus classique, le chromatographe est équipé d'un injecteur diviseur, d'une colonne capillaire et d'un détecteur à ionisation de flamme. Les données sont traitées par un système informatique [48].

La figure N°03, illustre le schéma d'un appareil de CPG, muni d'un détecteur à ionisation de flamme (DIF).

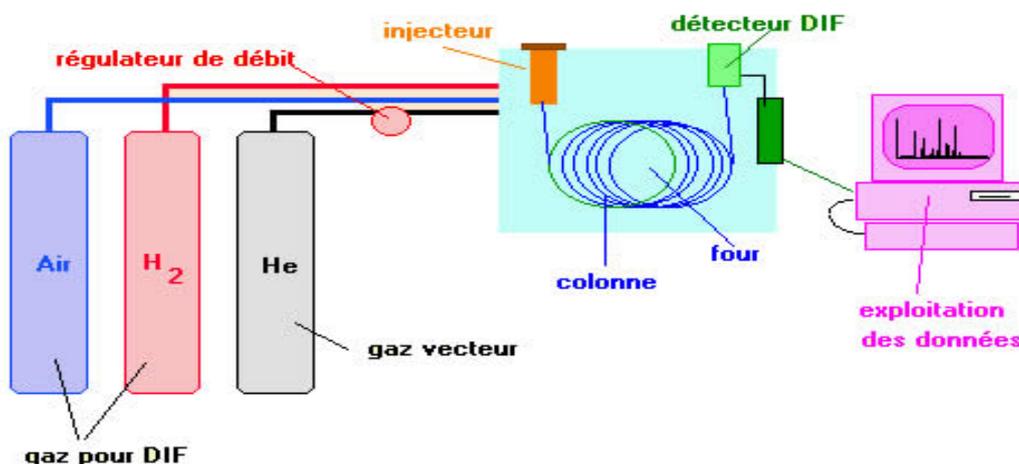


Figure N°03 : schéma d'un appareil CPG [48].

## II.2. Mesures manuelles des BTEX

### II.2.1. 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 ( $C_2$ - $C_8$ ). 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 [51].

Le débit d'admission d'air à la bombonne est de l'ordre de 10 à 15 ml/mn. Après une pré concentration cryogénique à  $-150^{\circ}C$  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 BTEX [49,50].

### II.2.2. Prélèvement par adsorption

La méthode est largement utilisée, et bénéficie d'une large expérience dans le domaine d'atmosphère de travail. On distingue deux techniques d'adsorption: L'adsorption passive (par diffusion) et l'adsorption active (dynamique), ces deux derniers sont préconisés pour l'échantillonnage des BTEX [52].

#### II.2.2.1. Adsorption active

C'est une méthode qui est largement utilisée dans l'étude des BTEX. 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 élevées peuvent conduire au point de perçage (saturation du tube) [53].

Le schéma de principe d'adsorption active est illustré dans la figure N°04

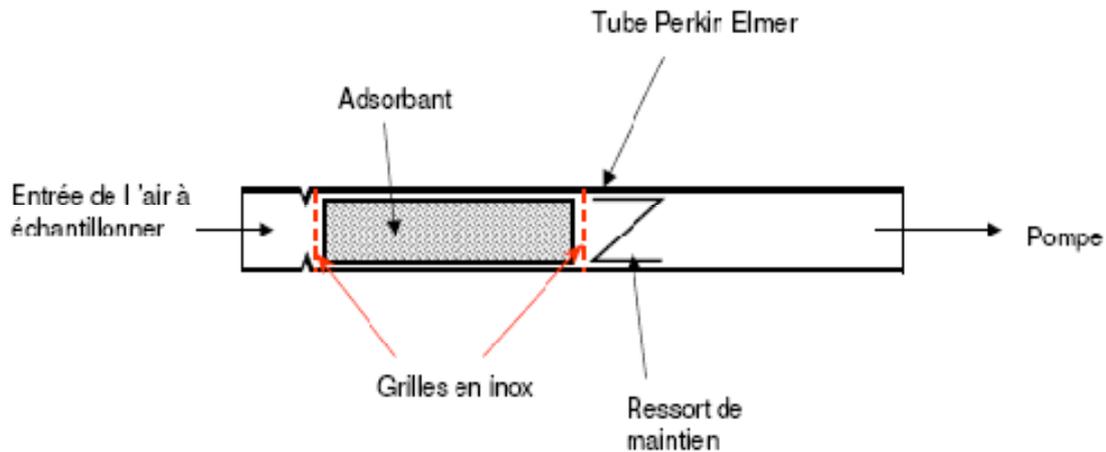


Figure N°04 : Schéma de principe d'adsorption active [54].

#### II.2.2.2. Adsorption passive

L'air à analyser est mis au contact d'un adsorbant par diffusion. Une quantité déterminée est ainsi collectée, le débit de l'échantillonnage passif est faible de telle manière à avoir une diffusion lente.

Les échantillonneurs passifs sont soit sous forme de badge (badge sampler) muni d'un disque de charbon actif, soit sous forme de tube ayant une surface collectrice petite et un chemin de diffusion long [55].

##### a- Tube axial

Sont principalement de type Perkin Elmer, ils sont munis d'une tête de diffusion qui a pour effet de couper l'effet de vent. La durée de prélèvement dépend de la concentration, mais elle est de 7 à 15 jours typiquement pour les concentrations couramment rencontrées dans l'air ambiant et intérieur. Une durée de prélèvement de un mois à l'air ambiant serait en principe possible, mais n'a pas encore fait l'objet d'une validation, que ce soit en laboratoire ou sur site [54].

Nous présentons dans la figure N°05 le principe du tube passif axial

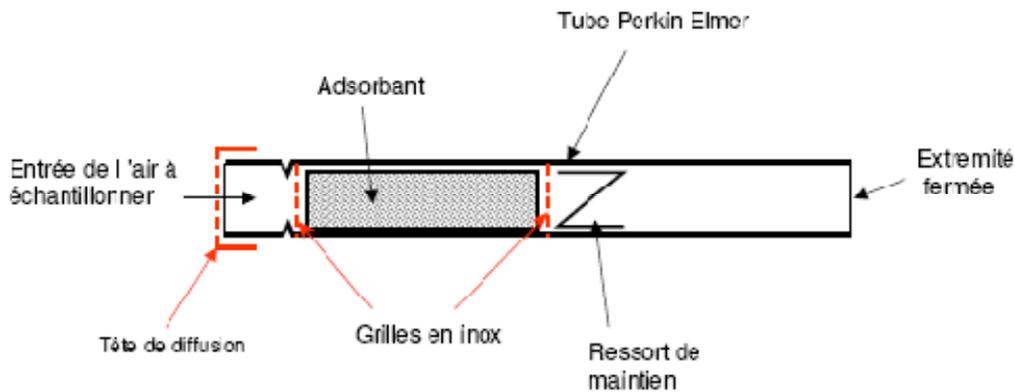


Figure N°05 : Principe du tube passif axial [54].

### b- Tube radial

Sont du type « **Radiello** » et sont commercialisés par la Fondazione Salvatore Maugeri. La cartouche contenant l'adsorbant est introduite dans un corps poreux cylindrique : l'adsorption se fait sur toute la surface du cylindre et pas seulement sur l'extrémité [54].

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.

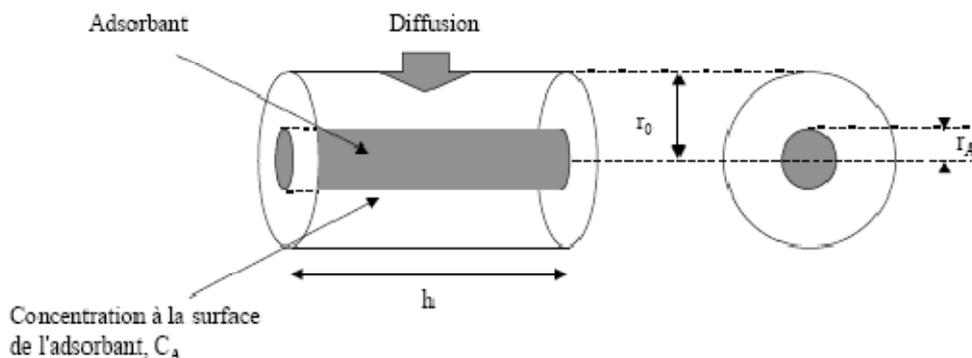


Figure N°06 : Principe du tube passif radial [54].

### c- Les adsorbants

Les adsorbants sont classés en trois catégories :

- Les adsorbants organiques (polymères poreux).
- Les adsorbants inorganiques.
- Le charbon actif.

### 1. Les adsorbants organiques

Appelés aussi carbone graphitisé, ce sont des adsorbants faibles désorbables par voie thermique. Ils comprennent: le tenax (oxyde de 2,4 diphényle-p-phényle), et le XAD (copolymère de styrène divinyl benzène).

En raison de son caractère hydrophobe et de sa grande stabilité thermique (jusqu'à 370°C), le tenax s'avère le polymère de choix pour la collecte des composés à grande ou à moyenne volatilité et ceci pour des concentrations inférieures au ppb. Le tenax est aussi préconisé pour le prélèvement de courte durée < à 3 heures, enfin les échantillons sur tenax sont stables au minimum 72 heures à condition de les conserver au frais (+ 4°C) et à l'abri de la lumière [56].

### 2. Les adsorbants inorganiques

Ils comprennent: le silica gel, l'alumine, et l'alumino-silicate de magnésium (Florisol). Ils ont une affinité pour les composés organiques polaires. Leur affinité pour l'eau qui désactive rapidement l'adsorbant limite leur utilisation dans l'adsorption des composés organiques volatiles et par conséquent les BTEX [57].

### 3. Le charbon actif

Les charbons actifs d'origine végétale sont des adsorbants forts, ils sont largement utilisés pour la concentration et le stockage des composés organiques volatils et sont généralement désorbables par solvant, ils sont apolaires et présentent une faible affinité pour l'eau, le charbon actif est de plus bien adapté aux échantillonnages de moyenne et de longue durée [58].

#### II.2.2.3. La récupération de l'échantillon

Les principales techniques de récupération de l'échantillon sont :

- L'extraction par solvant.

- La désorption thermique.

Ces différentes techniques de récupération sont liées à la méthode d'échantillonnage, il est en effet nécessaire que le support de prélèvement soit compatible avec la technique de récupération [59].

#### **a- Extraction par solvant**

Le solvant le plus généralement utilisé est le sulfure de carbone CS<sub>2</sub>. outre son pouvoir extractant, ce solvant présente l'avantage, par rapport à des solvants classiques, d'être élué rapidement en chromatographie et par conséquent, de diminuer sans l'annuler le risque de masquer d'autres composés. Par contre sa grande volatilité (point d'ébullition à 46°C) et son caractère inflammable nécessitent de grandes précautions d'emploi. D'autres solvants comme l'éthanol, l'éther, le dichlorométhane ou le diméthylsulfoxyde..., étaient utilisés avant que cette technique soit essentiellement remplacée par la désorption thermique.

#### **b- Désorption thermique**

La désorption thermique consiste à placer l'échantillon sous balayage d'un gaz vecteur et à le chauffer très rapidement. Cette technique qui est souvent mise en jeu lors d'opération de traitement présente de nombreux intérêts sur le plan analytique. L'objectif de la désorption est de libérer le plus rapidement possible les composés piégés sur les adsorbants. Pour atteindre cet objectif, le chauffage doit être le plus rapide possible de façon à désorber les COV avant de les dégrader thermiquement [60].

Les avantages de cette technique sont nombreux :

- Elle permet le prélèvement d'un volume suffisamment grand à faible concentration.
- La technique jouit d'une grande sensibilité.
- L'élimination du pic du solvant qui risque de masquer les composants les plus légers à des faibles temps de rétention [61].

### **II.2.3. Les techniques de séparation et d'analyse**

Pour appréhender l'analyse d'un mélange complexe, l'étape de séparation des constituants de ce mélange est primordiale. Cette étape si elle remplit ses objectifs, permet la distinction de tous les composés présents, en retenant différemment les produits de façon à assurer leur arrivée séquentielle au niveau du détecteur.

**a- Chromatographie en phase gazeuse (CPG)**

La chromatographie en phase gazeuse est une méthode de séparation des composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. Elle permet ainsi l'analyse de mélanges éventuellement très complexes dont les constituants peuvent différer d'une façon considérable par leur nature et leur volatilité.

La chromatographie est une technique physico-chimique de séparation, complétée par un système de détection qui permet de quantifier les constituants d'un mélange. Les méthodes chromatographiques sont utilisées dans différents secteurs et en particulier dans le domaine environnemental [62].

**b- Spectrométrie de masse (SM)**

La spectrométrie de masse tire son origine de la découverte faite en 1886 par Goldstein de l'existence de rayons d'électricité positive. Les recherches entreprises à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par Thomson, Dempster et Aston aboutirent à la construction d'appareils qui rendirent la séparation des ions positifs en fonction du rapport de leur charge à leur masse,  $m/z$  en mettant à profit leur différence de comportement dans les champs électriques et magnétiques [62]. Ainsi la CPG couplé à la SM a permis de mettre en évidence des centaines des COV présents dans l'atmosphère.

La figure N°07 présente un schéma récapitulatif des techniques de mesure des BTEX.

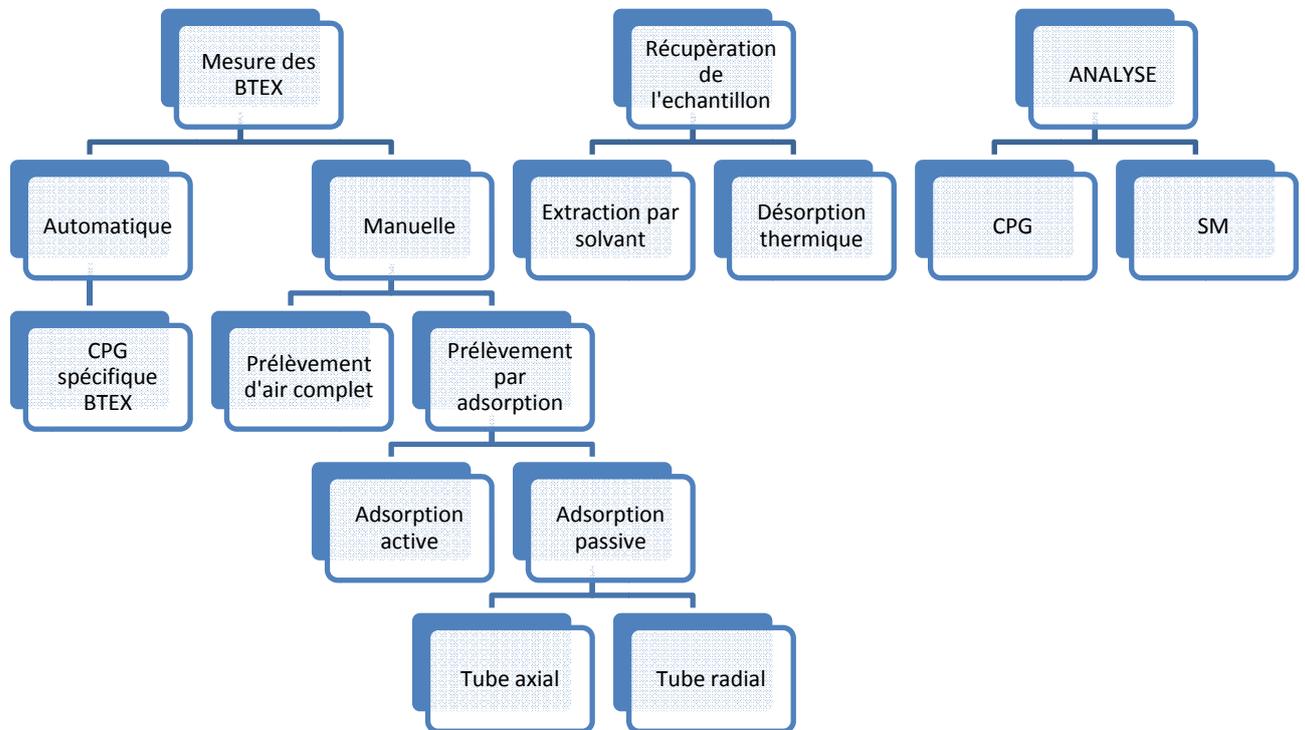


Figure N°07 : Schéma récapitulatif

*CHAPITRE III*

*METHODOLOGIE*

### III.1. Classification et critères d'implantation des sites

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°06 [63].

**Tableau. n°06. Classification des stations de surveillance de la qualité de l'air en Europe.**

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.

Station 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.

### III.2. Les sites de prélèvement

Afin d'évaluer le niveau de pollution atmosphérique par les BTEX au sein de l'agglomération d'Alger, nous avons choisi sept sites de prélèvement ( $S_1, S_2, \dots, S_7$ ).

Les sites ont été choisis de façon à regrouper la majorité des types cités précédemment. Il s'agit de site urbain de proximité, de site urbain de fond et de site semi rural.

Dans ce qui suit, nous caractérisons les sept sites en donnant les principales conditions d'emplacement.

#### a. Sites urbains de proximité

C'est le cas des sites :

- $S_1$ , implanté au niveau d'une école d'anglais dans un immeuble à la place Audin, Alger-centre (en face le tunnel des facultés). Le poste de prélèvement se trouve à 4 mètres d'altitude et à 2 mètres environ de la voie de circulation automobile. Ce dernier fait l'objet d'un trafic routier très dense (surtout les

heures de pointes), ainsi qu'une forte affluence de population résidente et piétonne (promenades, shopping, arrêts des bus...etc.).

- **S<sub>2</sub>**, implanté au niveau de la rue M<sup>ed</sup> Seghir Sadaoui à Bab El Oued (dans un balcon d'un appartement). Ce site a les mêmes caractéristiques que S<sub>1</sub> concernant son emplacement et ses caractéristiques.
- **S<sub>3</sub>**, implanté au niveau de la salle des fêtes de Hassan Badi (Belfort), El Harrach. Le poste de prélèvement se trouve à 2 mètres d'altitude et 2 mètres environ de la voie de circulation.
- **S<sub>4</sub>**, implanté à l'intérieur du tunnel de Oued Ouchayeh. Le poste de prélèvement se trouve à 2 mètres d'altitude et à moins d'un mètre environ de la voie de circulation.

#### **b. Sites urbains de fond**

C'est le cas des sites :

- **S<sub>5</sub>**, implanté au niveau de l'Ecole Nationale Polytechnique à El Harrach (dans la cour en face la direction générale). Le poste de prélèvement se trouve à 3 mètres d'altitude et loin du trafic routier. Notons que nous avons placé 2 échantillonneurs l'un à côté de l'autre afin de vérifier la reproductibilité de la technique d'échantillonnage.
- **S<sub>6</sub>**, implanté à l'intérieur de l'hôpital Mustapha à côté de la station de surveillance de la qualité de l'air « SAMASAFIA ». Le poste de prélèvement qui se trouve à 2 mètres d'altitude est assez éloigné du trafic routier.

#### **c. Site semi-rural**

Pour ce type de site, nous avons choisi le site :

- **S<sub>7</sub>**, implanté au niveau d'une ferme à Bouzaréah. Le poste de prélèvement se trouve à 2 mètres d'altitude et très loin de la circulation routière ou d'autres activités industrielles.

Nous présentons en figure N°08 et N°09 deux photos montrant des exemples d'emplacement de sites.



Figure N°08 : poste de prélèvement du site S<sub>1</sub> (place Audin)



Figure N°09 : poste de prélèvement du site S<sub>7</sub> (Bouzaréah).

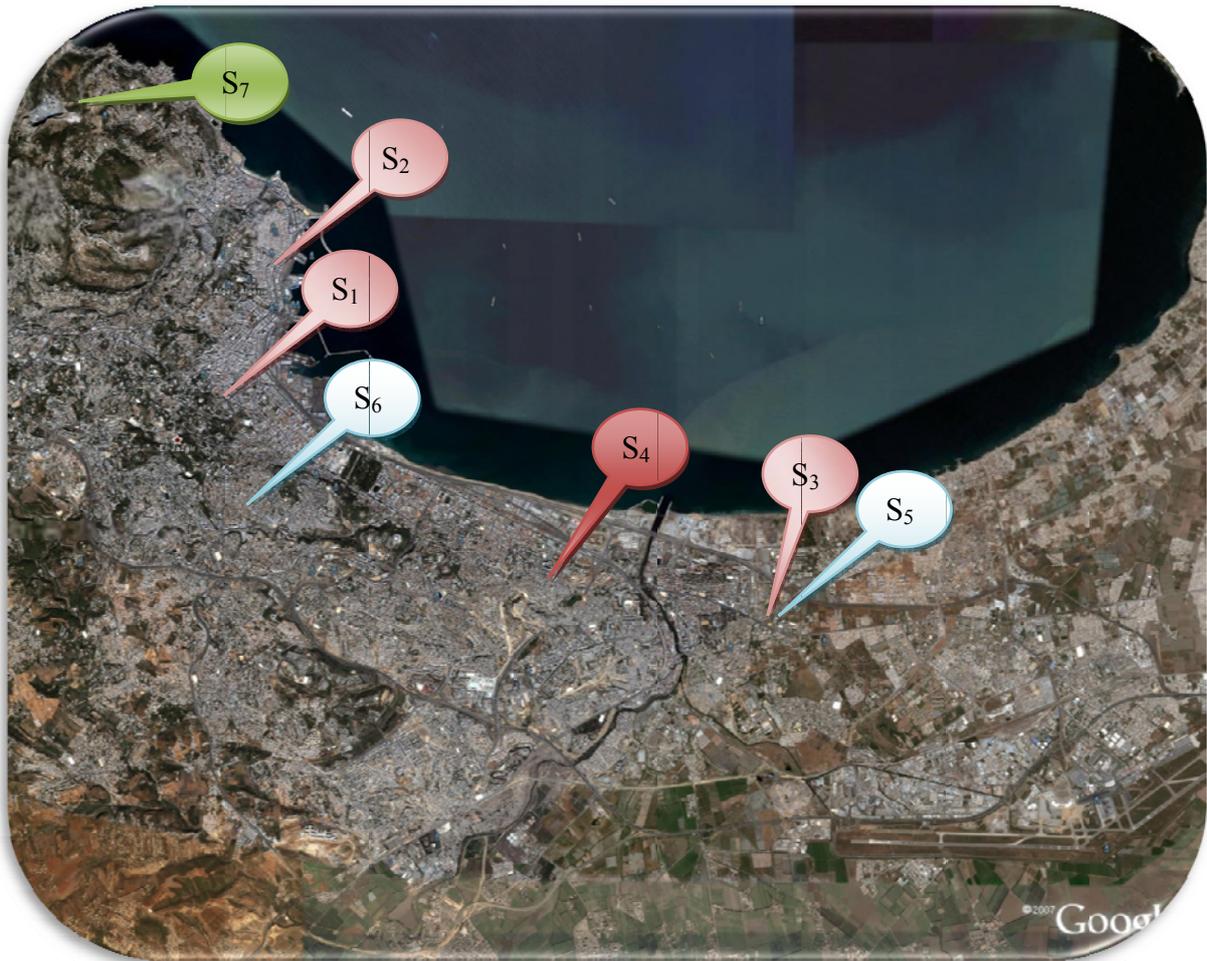


Figure N°10 : localisation des différents sites de prélèvement des BTEX.

### III.3. La technique de prélèvement utilisée

Parmi les techniques disponibles pour le prélèvement des BTEX dans l'atmosphère, on a opté pour l'utilisation de la technique d'échantillonnage passif avec adsorption sur charbon actif à l'aide des tubes radiaux du type Radiello.

#### III.3.1. Les composants de Radiello

Les composants fondamentaux de Radiello sont la cartouche adsorbante, le corps diffusif, la plaque de support et l'étiquette adhésive code barres. Tous les composants, sauf la cartouche sont réutilisables des dizaines de fois [60].

- **La cartouche adsorbante :** Plusieurs sortes de cartouches ont été développées conformément aux polluants à piéger. La cartouche est renfermée dans un tube verre ou plastique, contenu dans une enveloppe transparente en polypropylène thermo-soudée [60].

Pour les BTEX, on recommande une cartouche adsorbante en charbon actif (code 130), d'un diamètre de 5.8 mm et une longueur de 60 mm. Cette dernière est garni de  $530 \pm 30$  mg de charbon actif d'origine végétale à base de noix de coco « coconut », de granulométrie 35-50 mesh.



**Figure N°10 : cartouche adsorbante [60].**

- **Le corps diffusif :** C'est un corps blanc (code 120), en polyéthylène microporeux est d'emploi général; l'épaisseur de sa paroi est de 1,7 mm et la porosité de  $25 \pm 5$   $\mu\text{m}$ . La longueur du parcours diffusif est de 18 mm [60].



**Figure N°11 : le corps diffusif pour BTEX [60].**

- **La plaque de support :** La plaque de support est en polycarbonate et marche soit à bouchon soit à soutien du corps diffusif. Elle a un filet qui sert à y visser le corps diffusif, un clip pour son accrochage et une poche adhésive transparente à y introduire l'étiquette code barres. Il faut assembler les trois parties avant de l'employer [60].



Figure N°12 : la plaque de support [60].

### III.3.2. Principe de fonctionnement de l'échantillonneur diffusif

L'échantillonneur diffusif est une boîte fermée, d'habitude cylindrique, dont une des deux surfaces planes est "transparente" aux molécules gazeuses alors que l'autre les adsorbe. On appelle diffuseuse la première surface et adsorbante la deuxième (respectivement S et A en figure N°13). Sous le gradient de concentration  $dC/dl$ , les molécules gazeuses traversent S en diffusant vers A, le long du parcours diffusif qui est parallèle à l'axe de la boîte. Celle adsorbables viennent d'être piégés par A suivant la loi de la diffusion [60].

$$dm/dt = D.S. dC/dr \dots \dots \dots (1)$$

Où  $dm$  est la masse piégée pendant le temps  $dt$  et  $D$  est le coefficient de diffusion. Si  $C$  est la concentration à la surface diffuseuse et  $C_0$  est celle à la surface adsorbante l'intégrale de (1)

$$m/t = D. S. (C - C_0) / l \dots \dots \dots (2)$$

Qui va devenir  $m/tC = D.S/l = Q \dots \dots \dots (3)$  où  $C = m/tQ \dots \dots \dots (4)$

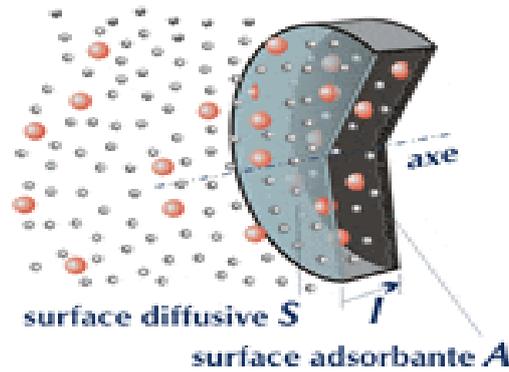


Figure N°13 : l'échantillonneur diffusif [60].

Si la concentration à la surface adsorbante est égale ou très proche à 0.  $Q$  est le débit de piégeage, dont les dimensions sont justement celles d'un flux (en exprimant  $m$  en  $\mu\text{g}$ ,  $t$  en minutes et  $C$  en  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , les dimensions de  $Q$  sont  $\text{l.min}^{-1}$  Donc, si  $Q$  est constant et connu, on peut connaître la concentration environnementale bien simplement par la mesure de la masse piégée et du temps d'exposition [60].

Étant donné que  $S=2\pi rh$  ( $h$  est la hauteur du cylindre) et que le parcours diffusif est le rayon, on doit écrire (1) dans la forme :

$$dm/dt = D \cdot 2\pi rh \cdot dC/dr \dots \dots \dots (4)$$

L'intégrale de (4) du rayon de la surface diffusante  $r_d$  à celui de la surface adsorbante  $r_a$  devient :

$$m/tc = D \cdot (2\pi h) / (\ln r_d/r_a) = Q \dots \dots \dots (5)$$

L'échantillonneur diffusif n'oblige pas à employer de pompes lourdes et encombrantes, n'a pas de contraintes dues aux besoins énergétiques, ne demande pas de surveillance, ne fait pas de bruit et ne craint pas de milieux inflammables ou explosibles [60].



Figure N°14 : l'échantillonneur à diffusion radiale [60].

### Remarque

Notons, qu'après chaque prélèvement, les cartouches sont hermétiquement rebouchées et conservées jusqu'à leur analyse à +4°C.

Pour la réutilisation des corps diffusifs dans la deuxième campagne de mesure un entretien spécifique a été effectué. Ces derniers ont été plongés et lavés avec de l'eau et du détergeant vaisselle ou du savon de Marseille pendant 20 minutes. Une fois le nettoyage est terminé, les corps diffusifs ont été rincés par de l'eau courante et, après, par de l'eau distillée et enfin séché à l'air ambiant.

### III.3.3. Désorption de l'échantillon

L'extraction ou la désorption se fait à l'aide de CS<sub>2</sub> haute pureté, et pour une durée de 30 min environ avec des agitations de temps à autre. On met 2 ml de CS<sub>2</sub> dans chaque tube de prélèvement et on agite pour avoir une meilleure désorption et donc de très bons résultats. Puis à l'aide d'une seringue de 5 µl on fait les injections dans l'appareil CPG pour chaque composé.

### III.3.4 Analyse des échantillons

Après 30 minutes de désorption sous agitation intermittente, les extraits sont analysés par chromatographie en phase gazeuse. Le chromatographe utilisé est de type SHIMADZU, série 17A, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID).

Après une série de manipulation, visant l'optimisation de la technique d'analyse, les conditions opératoires suivantes ont été fixées :

- colonne capillaire BENTONE 34/DNP SCOT ;
- longueur de la colonne : 50 ft (15,24 m), Diamètre intérieur: 0.02 in;
- quantité injectée : 5 $\mu$ l ;
- gaz vecteur (Azote, H<sub>2</sub>) : 0.4 bar ;
- gaz de flamme (H<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>) : 0.7 et 1.15 respectivement ;
- température de l'injecteur : 250°C ;
- température du détecteur : 250°C ;
- mode splitage : split.

On procède pour chaque échantillon à une double analyse.

La procédure expérimentale, les courbes d'étalonnage ainsi que la méthode de calcul sont données en Annexe.

### **III.4. Les campagnes de mesure**

#### **1- Dans le tunnel (site S<sub>4</sub>)**

Au site S<sub>4</sub> deux prélèvements ont été effectués, le lundi 10 Mars et le dimanche 20 Avril. Comme dans ce site fermé (absence d'aération), les émissions sont importantes et non diluées, la durée d'exposition des tubes radiello a été de 24 heures.

#### **2- Sites urbains de fond et de proximité**

Sur l'ensemble des autres six sites de prélèvement, la durée d'exposition a été fixée à une semaine (la durée recommandée par le constructeur est de 5 à 30 jours).

Les trois campagnes de mesure ont eu lieu :

- Du 06 au 13 mars 2008 ;
- Du 16 au 23 avril 2008 ;
- Du 03 au 10 mai 2008.

# *CHAPITRE IV*

## *RÉSULTATS ET DISCUSSIONS*

## IV.1. Etude des BTEX dans l'air ambiant de la localité d'Alger

### IV.1.1. Chromatogramme GC des BTEX

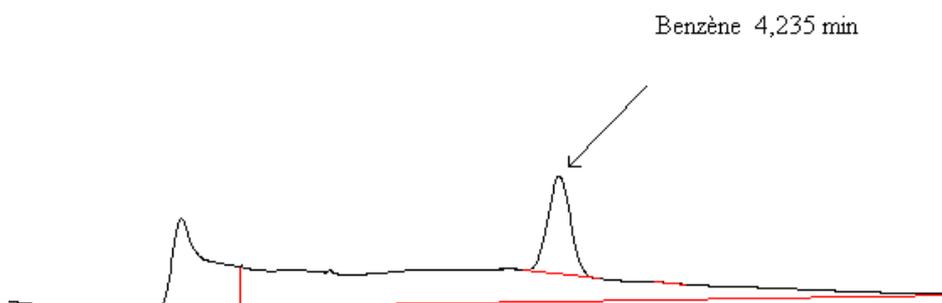
Afin d'identifier les composés étudiés (BTEX), nous avons préparé puis analysé une solution étalon contenant du : benzène, toluène, ethylbenzène, ortho, para et méta xylène de grande pureté (marque Supelco). Le chromatogramme de cette solution a été enregistré, ce qui nous a permis d'identifier les temps de rétention de chacun de ces composés (tableau N°05).

**Tableau N°05 : Temps de rétention du mélange étalon.**

Composé	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	P.xylène	M.xylène	O.xylène
T <sub>R</sub> (min)	4,10	6,50	10,87	11,80	12,60	14,20

Nous notons que la colonne utilisée est d'une grande efficacité, puisqu'on arrive à séparer les deux isomères m et p-xylène. Habituellement ils sont comptabilisés ensemble car non séparables.

Un chromatogramme du désorbant CS<sub>2</sub> a été également tracé. Cette analyse a montré que le CS<sub>2</sub> utilisé contenait des traces de benzène (figure N°16). Pour la quantification du benzène dans les échantillons prélevés, nous avons tenu compte de la présence de cette impureté.



**Figure N° 16 : Chromatogramme GC d'un blanc.**

A titre d'exemple nous présentons en figure N°18 un chromatogramme GC d'un échantillon prélevé au site S<sub>1</sub> (place Audin) le 13 mars 2008.

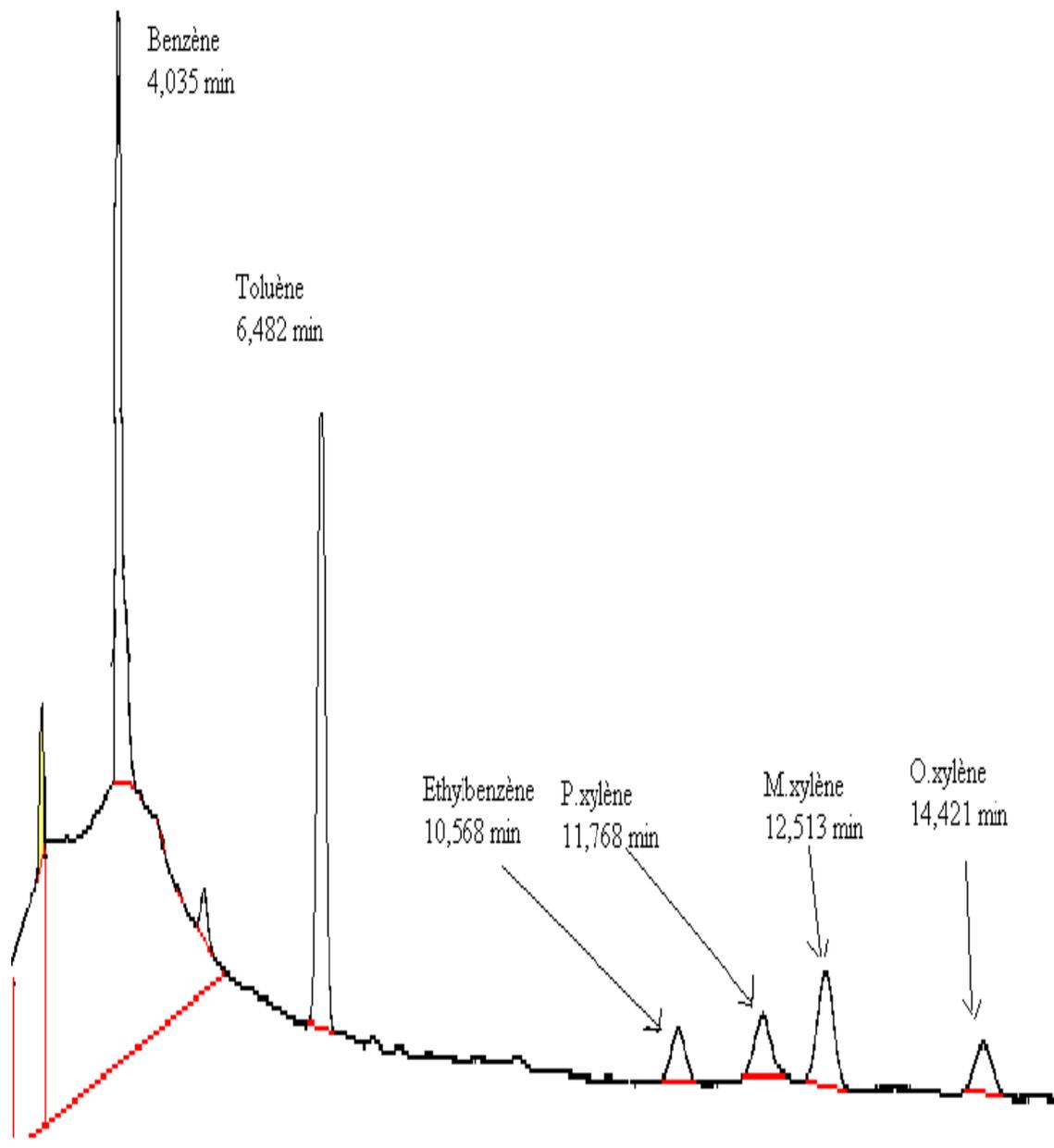


Figure N°18 : Chromatogramme GC d'un échantillon prélevé au site S<sub>1</sub>.

#### IV.1.2. Teneurs atmosphériques en BTEX

Nous rappelons dans le tableau N°06 les sites de prélèvement ainsi que le nombre d'échantillons prélevés.

**Tableau N°06 : les différents sites de prélèvement.**

Nom	Site	Nombre d'échantillons
S <sub>1</sub>	AUDIN (en face du tunnel des facultés)	3
S <sub>2</sub>	Bab El Oued (Rue M <sup>ed</sup> Seghir Sâadaoui)	2
S <sub>3</sub>	Salle des fêtes (Hassan Badi, El Harrach)	3
S <sub>4</sub>	Tunnel (Oued Ouchayeh)	2
S <sub>5</sub>	ENP	5
S <sub>6</sub>	Hôpital Mustapha (1 <sup>er</sup> Mai)	1
S <sub>7</sub>	Bouzaréah	2

L'étude a été effectuée sur une durée de 7 jours pendant 3 campagnes d'échantillonnage au cours de 3 mois différents (sauf pour le Tunnel où la durée d'exposition était de 24 heures seulement). Afin de vérifier la validité et surtout la reproductibilité de la technique d'échantillonnage par voie passive, nous avons installé à l'ENP deux postes de mesure juxtaposés pour avoir un double prélèvement simultané dans les mêmes conditions aérodynamiques et météorologiques.

L'analyse des 18 échantillons prélevés nous a permis de quantifier la pollution de l'air par les BTEX dans l'air ambiant de la localité d'Alger et de constater les variations des teneurs atmosphériques des composés étudiés.

Nous présentons dans le tableau N°07 les teneurs atmosphériques en BTEX ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mesurées dans les différents sites étudiés pour les 3 campagnes d'échantillonnage. Les figures 19 (a, b, c, d, e, f et g) illustrent graphiquement les résultats obtenus.

**Tableau N°09 : Teneurs atmosphériques en BTEX ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mesurées en divers sites à Alger.**

Sites	Campagne	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m.Xylène	o.Xylène	p.Xylène	BTEX Totaux
S <sub>1</sub>	Camp1	2,49	1,77	0,31	0,29	0,18	0,54	5,58
	Camp2	1,76	0,46	N.D	N.D	N.D	N.D	2,22
	Camp3	5,52	1,06	N.D	0,016	N.D	0,65	7,25
S <sub>2</sub>	Camp1	0,82	2,52	N.D	N.D	0,08	0,53	3,95
	Camp2	2,56	5,8	0,32	N.D	N.D	0,64	9,32
S <sub>3</sub>	Camp1	5,40	1,29	0,84	N.D	0,35	0,74	8,62
	Camp2	4,51	1,25	N.D	0,25	N.D	N.D	6,01
	Camp3	3,41	0,066	N.D	N.D	N.D	N.D	3,48
S <sub>4</sub>	Camp1	3,06	1,40	0,21	0,27	0,78	N.D	5,72
	Camp2	22,9	3,14	N.D	N.D	N.D	N.D	26,04
S <sub>5</sub>	Camp1	0,40	0,29	N.D	N.D	N.D	N.D	0,69
	Camp1*	0,46	0,30	N.D	N.D	N.D	N.D	0,76
	Camp2	0,46	0,69	N.D	N.D	N.D	N.D	1,15
	Camp2*	0,45	0,56	N.D	N.D	N.D	N.D	1,01
	Camp3	1,72	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1,72
S <sub>6</sub>	Camp3	2,8	0,34	N.D	N.D	N.D	N.D	3,14
S <sub>7</sub>	Camp1	0,43	0,05	N.D	N.D	N.D	N.D	0,48
	Camp2	0,62	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,62

**N.D** : Non détecté pendant l'échantillonnage.

**Camp\*** : échantillonneur placé au même endroit pendant la même période pour vérifier la reproductibilité.

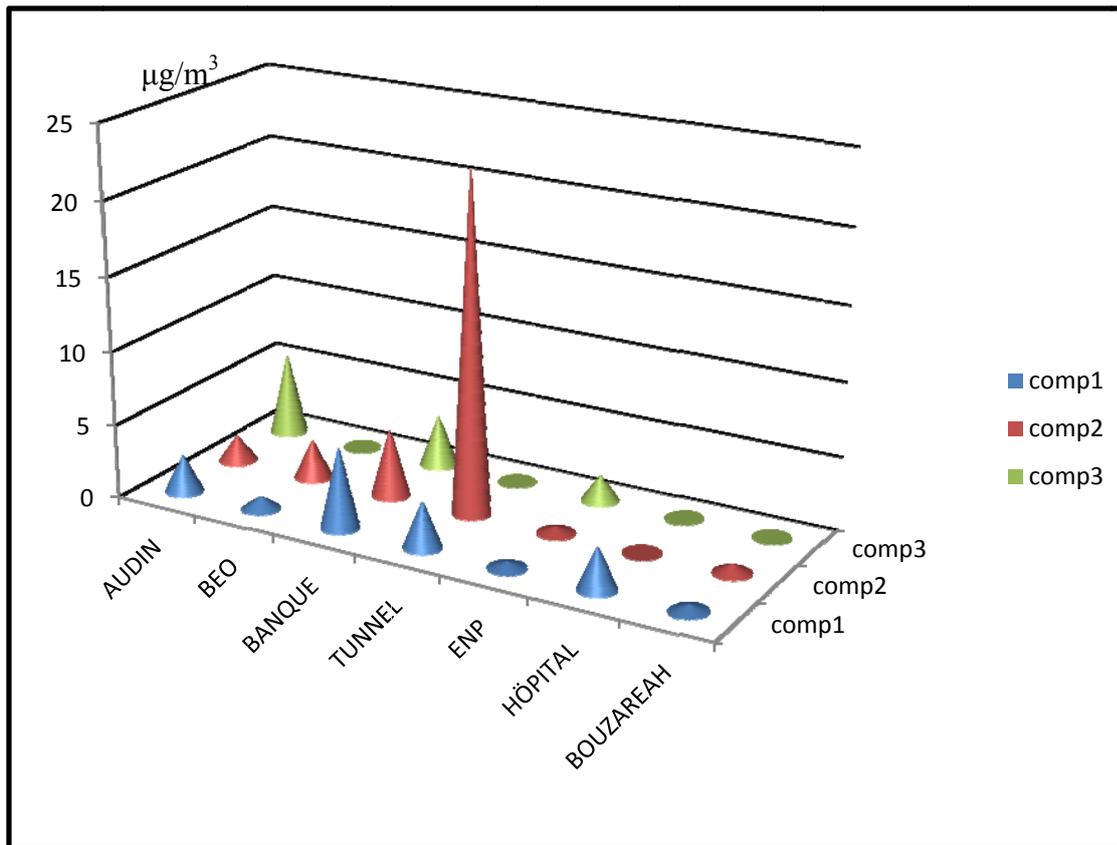


Figure N°19 (a) : Variation des teneurs atmosphériques en benzène.

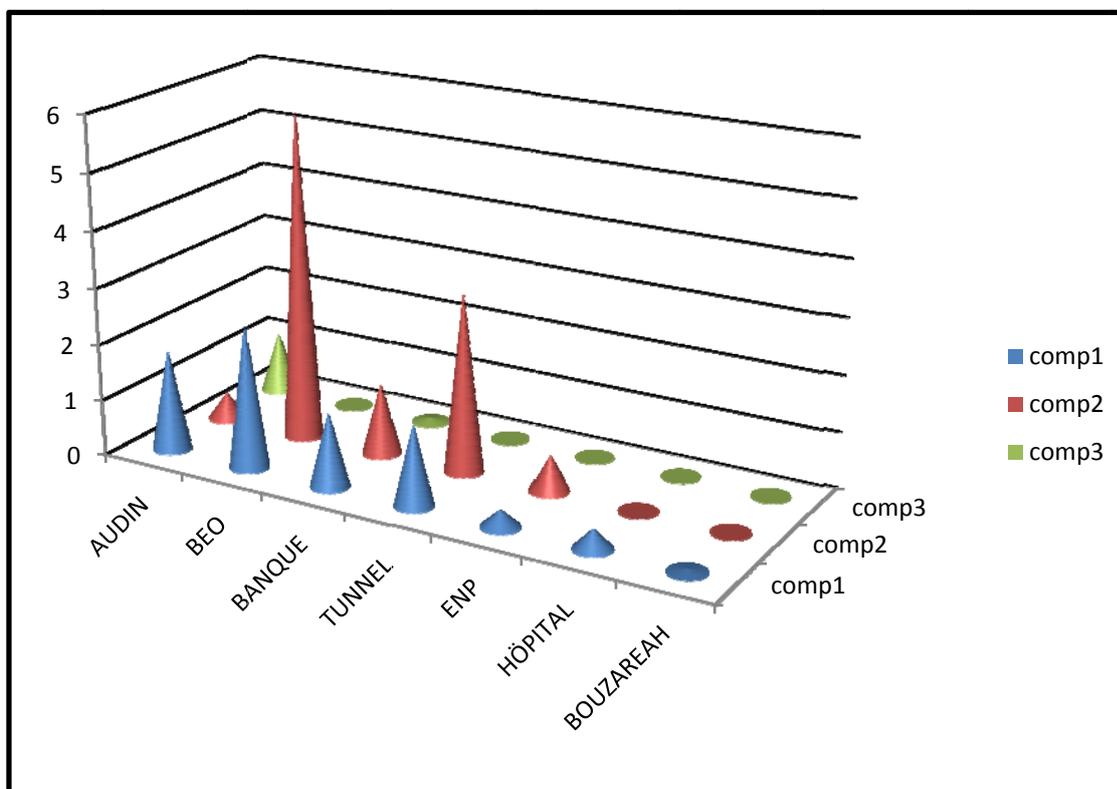


Figure N°19 (b) : Variation des teneurs atmosphériques en toluène.

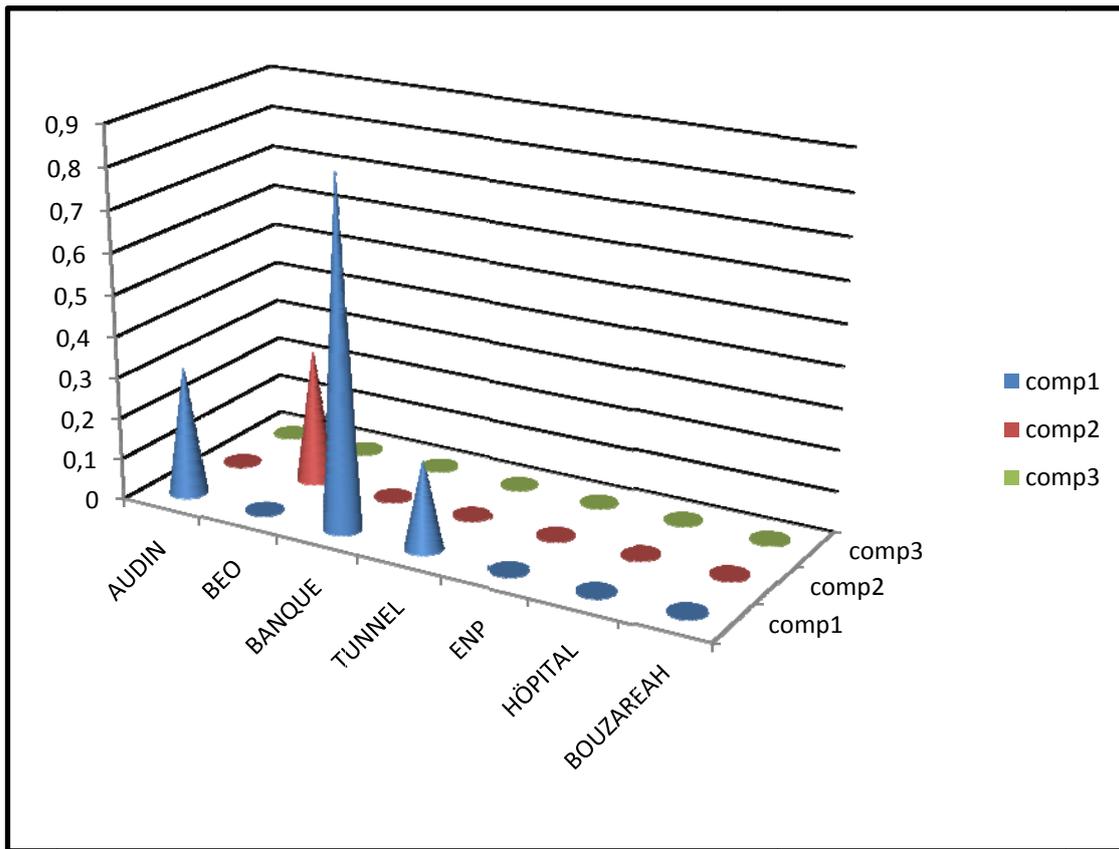


Figure N°19 (c) : Variation des teneurs atmosphériques en ethylbenzène.

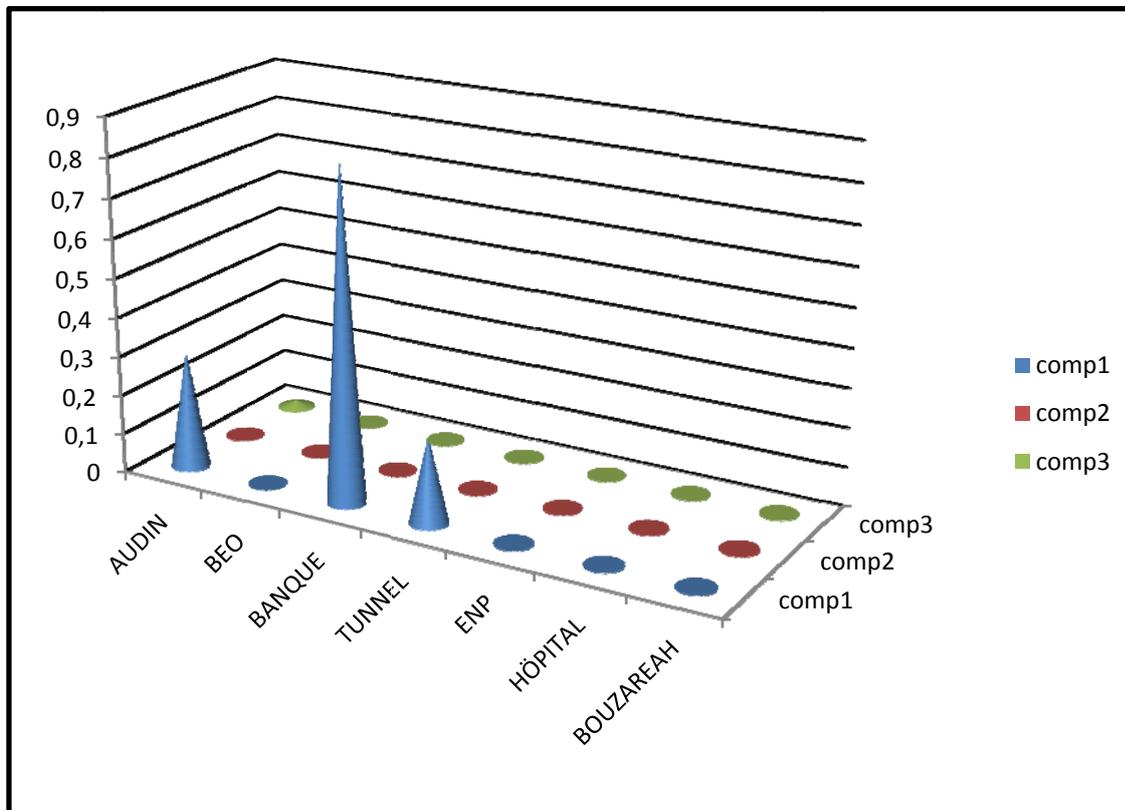


Figure N°19 (d) : variation des teneurs atmosphériques en m.xylène.

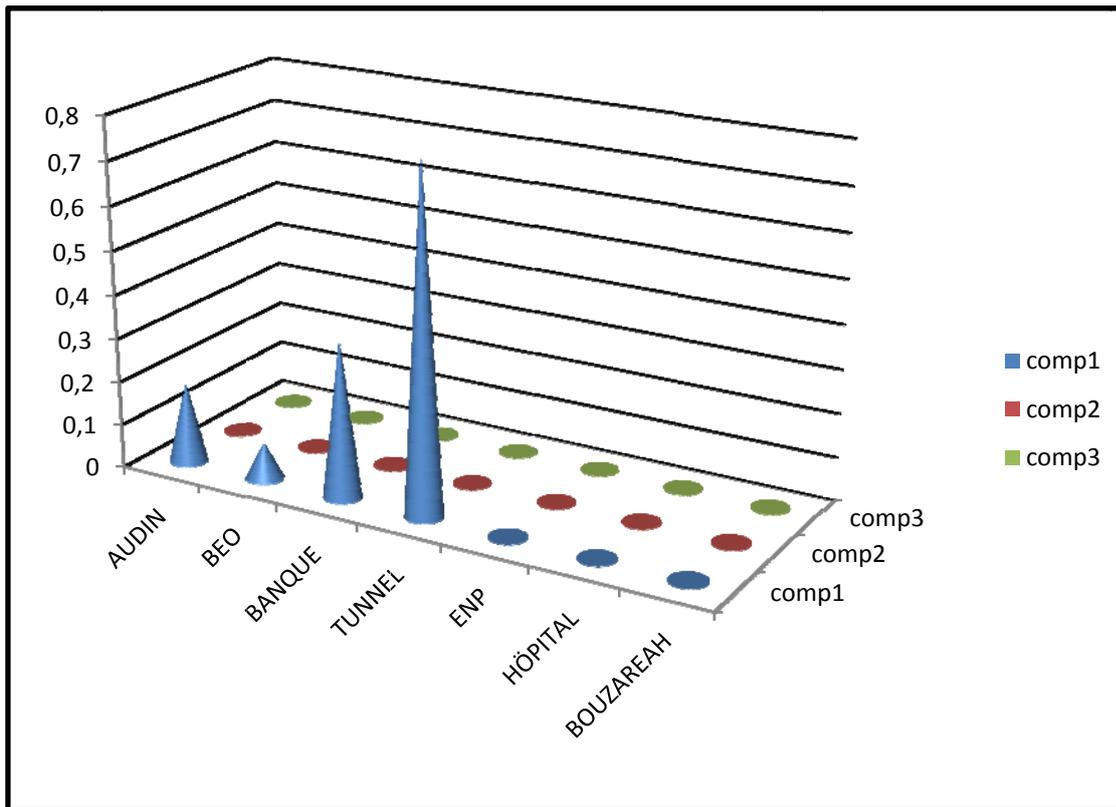


Figure N°19 (f) : Variation des teneurs atmosphériques en o.xylène.

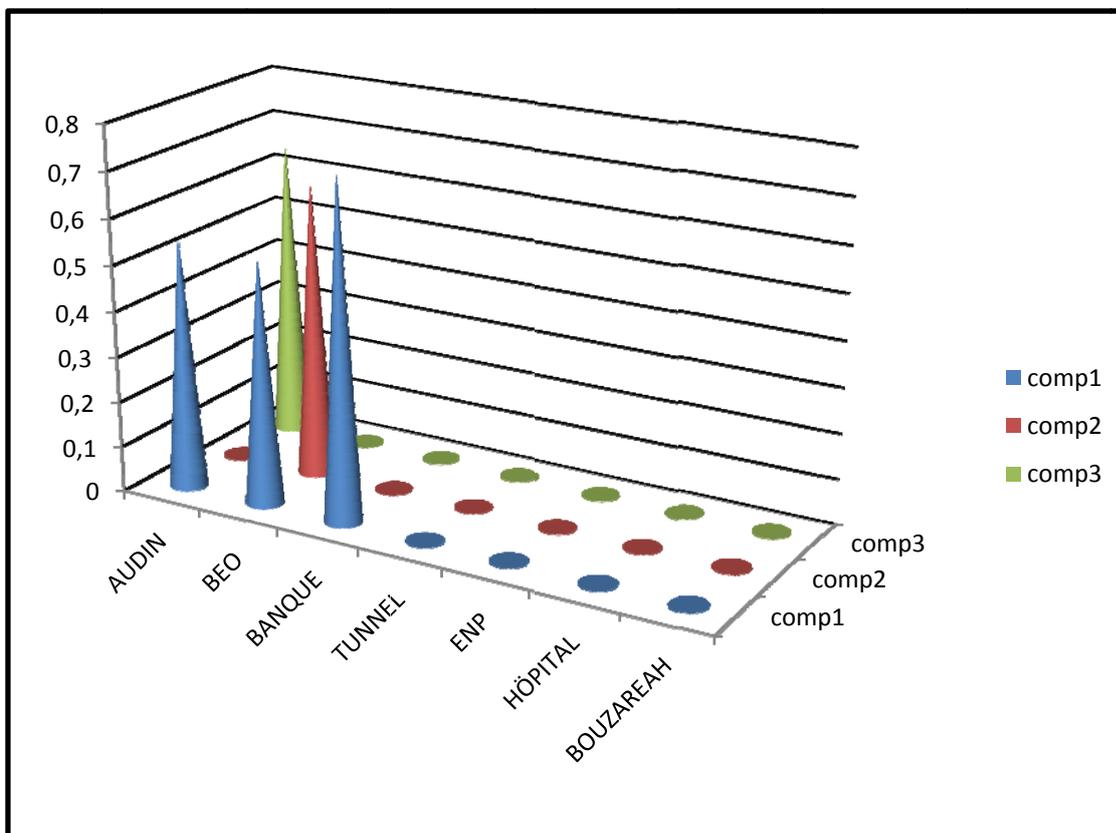
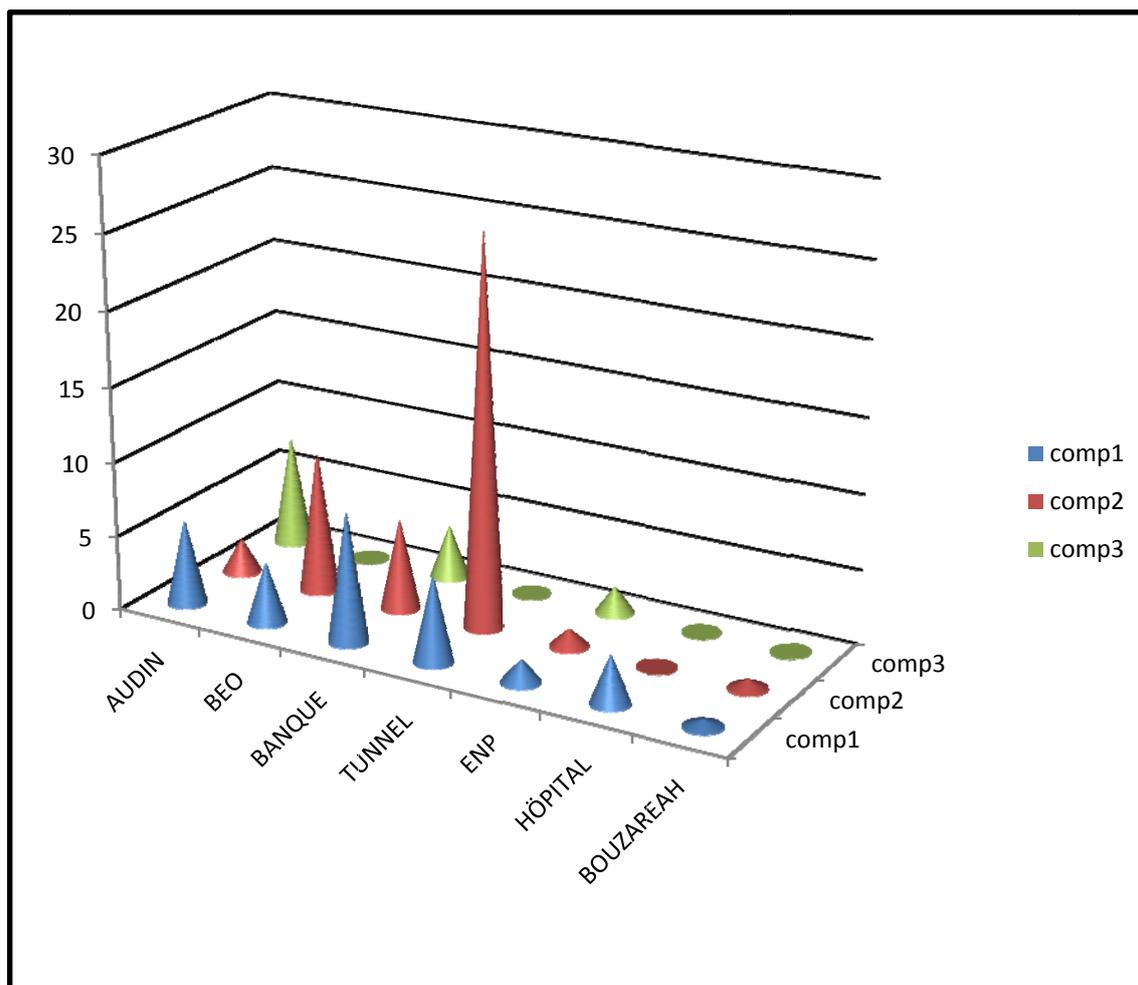


Figure N°19 (e) : Variation des teneurs atmosphériques en p.xylène.



**Figure N°19 (g) : Variation des teneurs atmosphériques BTEX totaux.**

D'après le tableau des résultats et les figures présentées, on note que le benzène et le toluène sont majoritaires dans tous les prélèvements. Tandis que les autres composés (ethylbenzène, m, p, o-xylène) apparaissent à des teneurs très faibles ou sont totalement absent dans plusieurs échantillons (concentration inférieure au seuil de détection de la technique analytique).

Pour un même site, les fluctuations des teneurs sur les trois campagnes de mesure sont certainement liées aux variations des facteurs météorologiques et aux variations dans l'intensité des activités humaines (trafic routier en particulier).

Pour une meilleure lisibilité des niveaux de pollution, nous présentons dans le tableau N°10 les teneurs moyennes enregistrées en chaque site.

**Tableau N°10 : Teneurs moyennes des BTEX en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .**

Sites	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m.Xylène	o.Xylène	p.Xylène	BTEX totaux
S <sub>1</sub>	3,26	1,1	0,31	0,15	0,18	0,60	5,60
S <sub>2</sub>	1,69	4,16	0,32	N.D	0,08	0,60	6,85
S <sub>3</sub>	4,44	0,87	0,84	0,25	0,35	0,74	7,49
S <sub>4</sub>	12,98	2,27	0,21	0,25	0,78	N.D	16,49
S <sub>5</sub>	0,7	0,46	N.D	N.D	N.D	N.D	1,16
S <sub>6</sub>	2,8	0,34	N.D	N.D	N.D	N.D	3,14
S <sub>7</sub>	0,52	0,05	N.D	N.D	N.D	N.D	0,57

Pour l'interprétation et la discussion des résultats, il est préférable de les présenter par type de site.

**a. Sites urbain de proximité S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, et S<sub>4</sub>**

Les mesures des BTEX au niveau de ces sites influencés par le trafic routier et qui présentent des caractéristiques presque identiques ont donné les teneurs les plus élevées. C'est aussi en ses sites qu'on retrouve le plus souvent les homologues supérieurs du benzène à des teneurs variables.

Selon le site les teneurs moyennes en benzène et toluène varient respectivement de 1,69 à 12,98 et 0,87 à 2,27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (tableau N°10). Les BTEX totaux varient de 5,60 à 16,49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La valeur maximale du benzène est de 22,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enregistrée au tunnel, celle du toluène est de 5,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enregistrée au site S<sub>2</sub> (Bab El Oued). Ces maxima sont très élevés par rapport aux moyennes (de l'ordre de 3 à 4 fois plus).

Les teneurs moyennes des autres composés sont :

- ethylbenzène de 0,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ;
- m.Xylène de 0,20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ;
- o.Xylène de 0,35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ;
- p.Xylène de 0,62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nous constatons que les valeurs de l'éthylbenzène et les isomères du xylène sont faibles par rapport à ceux du benzène et toluène (non détecté dans plusieurs échantillons).

A l'exception du tunnel qui présente une forte pollution surtout pour le benzène (2 fois supérieur aux normes), les autres sites ont des teneurs moins importantes que celles relevées dans certaines villes du monde.

Le cas du tunnel représente une situation spécifique, en ce sens que les polluants ne sont pas fortement dilués et peuvent être considérés comme étant représentatifs des gaz d'échappement. En ce site, il n'y a pas d'apport de polluants, autres que ceux du trafic routier. C'est en fait la preuve que le trafic routier est à l'origine d'une forte pollution par les BTEX. A signaler toutefois que dans le cas du tunnel, l'influence météorologique est négligeable.

#### **b. Site urbain de fond S<sub>5</sub> et S<sub>6</sub>**

Contrairement à ce qui a été observé aux sites de proximités, les niveaux de pollution du benzène et toluène sont nettement plus faibles.

Les autres aromatiques sont à un seuil non détectable. En ces sites les BTEX totaux ne dépassent pas 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (tableau N°10). Ceci s'explique par le fait que ces sites ne subissent pas l'influence direct d'un intense trafic routier.

Les teneurs en benzène au site S<sub>5</sub> varient entre 0,40 et 1,72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec une moyenne de 0,70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , celle du toluène entre 0,29 et 0,69  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec une moyenne de 0,46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ces valeurs sont 7 et 4 fois moins importantes que celles enregistrées aux sites de proximité.

La seule campagne réalisée pour le site S<sub>6</sub> nous a donné une valeur de 2,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le benzène et 0,34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le toluène. Si la valeur de ce dernier est très proche de la moyenne, la teneur du benzène est nettement supérieure, cela est dû principalement à la forte affluence des véhicules à l'intérieur de l'hôpital.

La teneur moyenne des BTEX totaux pour ces 2 sites est de 1,41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (5 fois inférieur à celle enregistrée en site de proximité).

Vu les résultats enregistrés au site S<sub>5</sub> pour les échantillonneurs placés au même endroit pendant la même période, on peut dire que la reproductibilité a été vérifiée car la différence est pratiquement négligeable (moyenne d'erreur égale à 10%).

- Benzène : [0,40 et 0,46]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (campagne 1) et [0,46 et 0,45]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (campagne 2)
- Toluène : [0,29 et 0,30]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (campagne 1) et [0,69 et 0,56]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (campagne 2).

Ces résultats confirment la fiabilité de la méthode d'échantillonnage utilisée (échantillonnage passif).

### c. Site semi-rural de Bouzarèah S<sub>7</sub>

Comme le montrent les résultats le site de Bouzarèah exprime les niveaux de concentration en BTEX les plus bas, et la quasi inexistence de la majorité des homologues supérieurs du benzène.

Les teneurs du benzène pour les 2 campagnes réalisées sont de 0,46 et 0,62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivement avec une moyenne de 0,52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , tandis que la seule valeur enregistrée pour le toluène est de 0,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant la 1<sup>ère</sup> campagne.

La teneur moyenne des BTEX totaux est de 0,55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  soit 14 fois inférieure à celle enregistrée en site de proximité.

Ces faibles concentrations résultent de l'emplacement du site qui est loin des activités humaines et du trafic routier. Ce sont des teneurs typiques d'un site semi rural.

La classification des sites selon le taux de pollution en BTEX totaux est donnée en figure N°20.

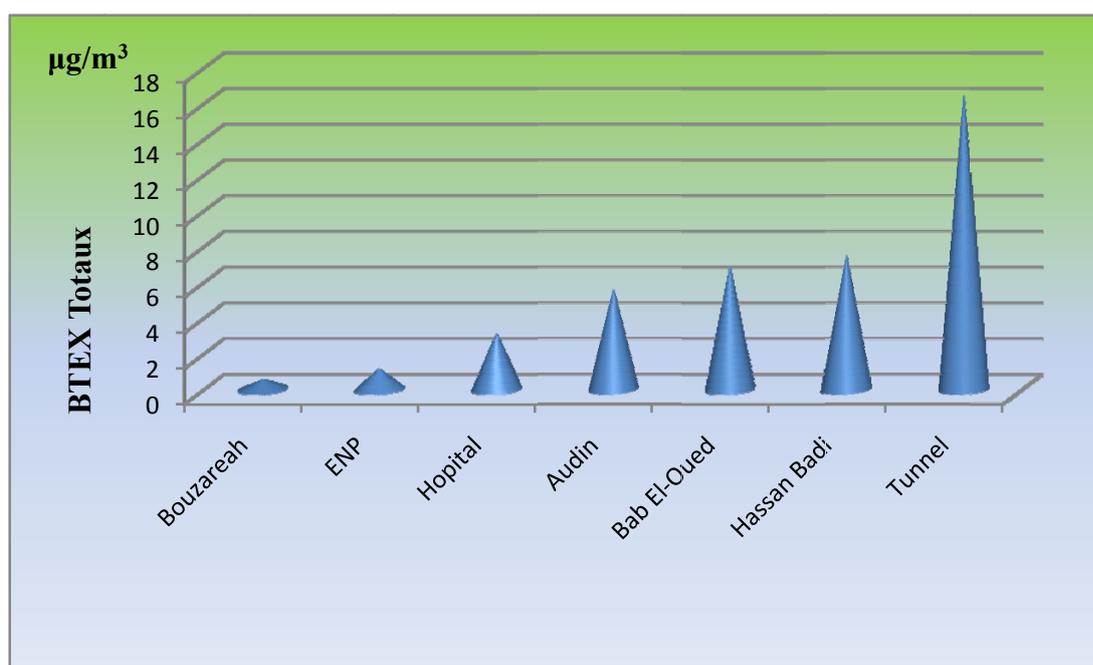


Figure N°20 : classification des sites par pollution croissante en BTEX totaux.

### IV.1.3. Composition massique des BTEX

Les taux de répartition des BTEX par composé exprimé en % sont résumés pour chaque site dans le tableau N°11. La figure N°21 illustre graphiquement cette répartition massique.

**Tableau N°11 : Taux de répartition des BTEX dans les sites étudiés.**

Sites	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m.Xylène	o.Xylène	p.Xylène
S <sub>1</sub>	64,9	21,9	2,02	2,03	1,20	7,95
S <sub>2</sub>	25,5	62,7	2,41	0	0,6	8,82
S <sub>3</sub>	73,6	14,4	4,64	1,38	1,93	4,09
S <sub>4</sub>	81,7	14,3	0,66	0,85	2,46	0
S <sub>5</sub>	65,5	34,5	0	0	0	0
S <sub>6</sub>	89,2	10,8	0	0	0	0
S <sub>7</sub>	95,5	4,6	0	0	0	0
<b>Moyenne</b>	70,8	23,3	2,43	0,60	0,88	2,98

Le benzène contribue avec une moyenne de 70,8%, un maximum de 95,5% enregistré au site S<sub>7</sub> et un minimum de 25,5% au site S<sub>2</sub>. Le toluène contribue quand à lui avec une moyenne de 23,3%, un maximum de 62,7% enregistré au site S<sub>2</sub> et un minimum de 4,55% au site S<sub>7</sub>. Les autres composés contribuent avec des pourcentages presque négligeables devant ceux du benzène et toluène.

C'est normalement au tunnel qu'on a la composition massique qui est la plus proche de celle des gaz d'échappement. Dans les autres sites, après dilution et réaction dans l'atmosphère, la composition massique sera différente (les xylènes et l'ethylbenzène sont plus réactifs dans l'atmosphère que le benzène et le toluène).

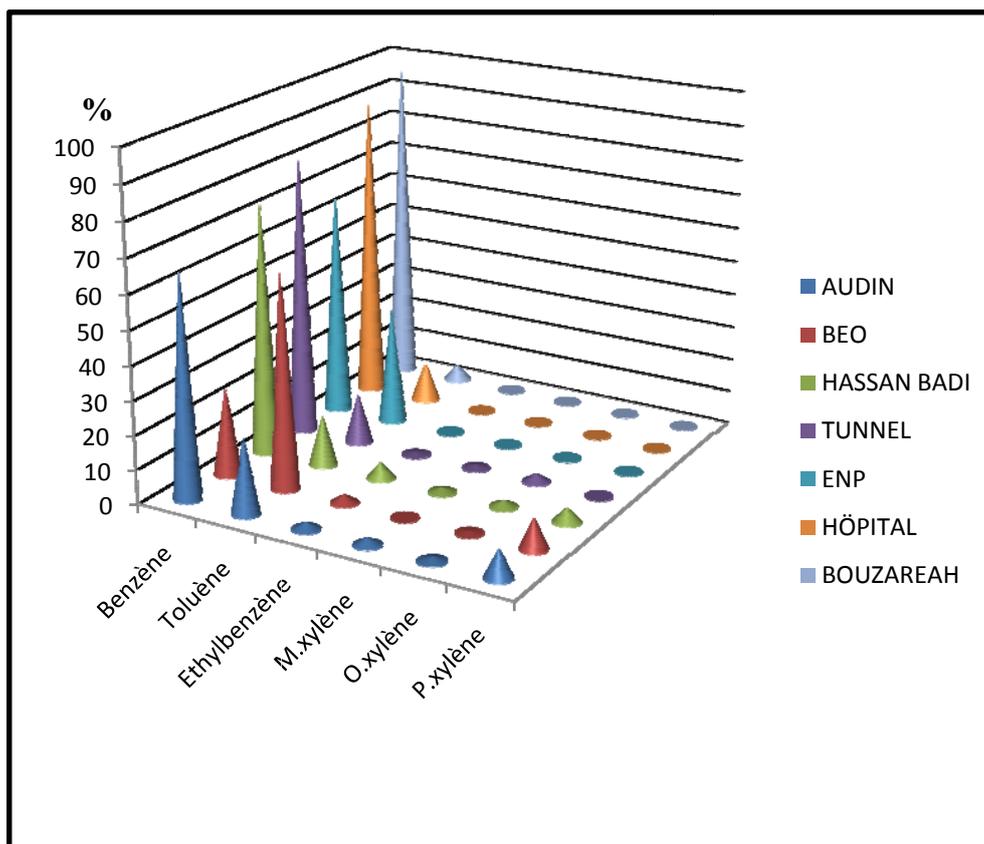


Figure N°21 : Répartition massique des BTEX.

#### IV.1.4 Rapport et corrélation entre les BTEX

Des rapports et des corrélations ont été cherchés entre les différents BTEX pour mieux comprendre leurs sources d'émissions.

Le rapport moyen toluène/benzène caractérise les émissions du trafic routier, il varie généralement de 2 à 3 selon la nature du carburant, du type de combustion et de l'entretien du moteur [64, 65]. Pour les autres composés les rapports dépendent de la technique d'échantillon adoptée [66].

Par exemple au niveau de Bab El Oued le rapport s'élève à 2,46.

Parmi les corrélations qui existent entre les BTEX, la plus significative est celle entre le benzène et le toluène spécialement pour notre étude vu les résultats trouvés (faible concentration pour les autres composés ou parfois non détectés).

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 BTEX [67, 68]. Une étude récente à proximité d'un tunnel, a montré

que les coefficients de corrélation, entre le Benzène et les TEX étaient élevés et variaient entre 0,41 et 0,93. Pour les autres corrélations entre les différentes BTEX les coefficients étaient supérieurs à 0,89. Ces chiffres montrent clairement que tous les polluants sont de même origine [69]. 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 [70]. C'est le cas du parc automobile algérien qui, dans son écrasante majorité n'est pas doté de catalyseurs.

Un bon coefficient de corrélation indique généralement que les deux polluants sont issus de la même source.

La figure N°22 représente la corrélation entre le benzène et le toluène. Le coefficient de corrélation obtenu est de 0,80, ce qui explique que les deux polluants sont issus de la même source comme il a été attendu.

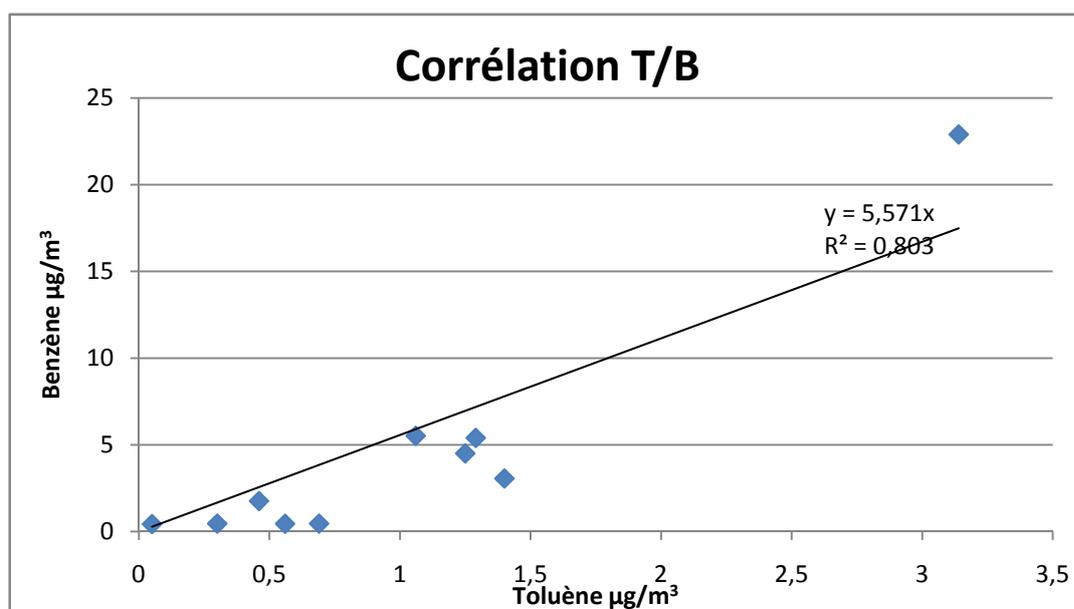


Figure N°22 : Corrélation entre le Toluène et le Benzène.

#### IV.2. Comparaison des teneurs mesurées avec d'autres résultats

A titre comparatif, nous présentons dans le tableau N°12 les résultats d'études similaires enregistrés dans quelques villes du monde y compris dans la ville d'Alger (présente étude ou d'autres faites récemment).

Tableau N°12 : Teneurs en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  des BTEX mesurées dans certaines villes.

Ville	Type de site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	Xylène	Réf
USA : 13 sites dans 8 états	Semi-rural	0,5-1,5	0,8-3,5	0,13-0,8	0,2-2,3	[71]
	Urbain	0,8-3,6	0,5-1,5	0,6-2,4	0,6-5,2	
Yokohama (japon)	Plusieurs types	1,7-3,7	4,7-34,3	0,5-3,8	0,8-2,0	[72]
Séoul (Corée du sud)	Urbain	3,2	24,5	3,0	13,5	[73]
Paris (France)	Urbain	1,6	10,0			[74]
Sao Paulo (Brésil)	Urbain	4,6	44,8	13,3	34,0	[75]
Santiago (chili)	Urbain	19,5	83,5		63,4	[76]
Guangzhou, Nanhua et Macao (chine)	urbain	15,4-67	28-106	2,4-31,2	11,4-111,5	[77]
Bombay (Inde)	Urbain	13,7	11,1	0,4	3,5	[78]
Karachi (Pakistan)	Urbain	18,2	27,2		13,5	[79]
Caio Duilio-Naples	Proche du Tunnel	14,2	180,6	58,3	280,9	[69]
Cross Harbor tunnel in Hong Kong	Tunnel	30,51	200,82	15,07	45,67	[80]
Izmir (Turquie)	Urbain	56,9	106,5	36,9	84,4	[81]
Alger (Sept2005)	Urbain	9,6	15,2	0,9	3,2	[82]
Alger (Sept2007)	Plusieurs types	1,29	1,89	0,35	0,62	[83]
Alger (juin2008)	Plusieurs types	3,11	0,5	0,44	0,48	Présent document

On remarque que les valeurs enregistrées à Alger pendant les 3 études sont similaires ou inférieures à celles relevées dans d'autres villes.

Parmi les composés organiques volatils, l'exposition au benzène est la plus redoutable, l'impact sur la santé qui se traduit par le risque de contracter un cancer (leucémie) est défini par l'Union de la Santé et Protection de l'Environnement (USEPA) par :

$$\text{Risk} = \text{Conc} * \text{Unit Risk}$$

- **Conc** : concentration du benzène dans l'air ambiant  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ;
- **Unit Risk** : facteur de risque unité, calculé pour une vie entière (74ans) d'un individu exposé continuellement à une concentration de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respirant à  $20 \text{ m}^3/\text{jour}$ , et d'un poids égale à 70 Kg [55].

Si on considère le facteur « Unit Risk » donné par l'USEPA qui s'élève à  $8,3 * 10^{-6}$ , et en tenant compte de la concentration moyenne du benzène dans la localité d'Alger qui est de  $3,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le risque de contracter un cancer aux environs d'Alger serait de  $26 * 10^{-6}$ , soit un risque de 3 cancer pour 100.000 habitants.

# *CONCLUSION GENERALE*

### Conclusion

L'étude de la pollution de l'air par les BTEX au niveau de la localité d'Alger sur divers sites (urbain de proximité, urbain de fond et semi rural) pendant trois campagnes de prélèvements nous a permis de constater les résultats suivants :

- Le benzène et le toluène sont les composés majoritaires dans tous les échantillons analysés ;
- A cause de leurs faibles concentrations l'Ethylbenzène et les Xylènes (les trois isomères) non pas été détectés sur plusieurs échantillons ;
- La comparaison intersites montre que le trafic routier est la principale source de la pollution de l'air à Alger par les BTEX ;
- La teneur moyenne du benzène dans les sites de proximités est de  $5,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec un taux de contribution de 61,42%, le plus grand pic a été enregistré au tunnel avec  $22,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (malgré que la durée de prélèvement était de 24 heures seulement), le toluène quant à lui enregistre une moyenne de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et un taux de 28,31% avec une grande valeur de  $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Bab El Oued ;
- Les concentrations enregistrées dans les sites urbains de fond et semi rural sont moins importantes. Elles sont 3 à 8 fois moins faibles que celles trouvées précédemment pour le benzène et le toluène, tandis que l'Ethylbenzène et les Xylènes non pas été détectés sur tous les échantillons ;
- On relève une très bonne corrélation entre le benzène et le toluène qui suggère leur même source d'émission qui est le trafic routier ;
- Globalement, les teneurs des BTEX enregistrées sont inférieurs aux normes internationales.

Cette pollution de l'air due au trafic routier peut être réduite par :

- Réduction de l'âge du parc automobile ;
- Réduire la consommation par un meilleur entretien du moteur ;
- Eviter le gaspillage de carburant lors de son transport et pendant le remplissage de réservoirs ;
- L'intégration du pot catalytique dans tous les véhicules ;
- L'utilisation des énergies propres comme le gaz naturel et le GPL comme carburant.

Elargir cette étude par l'analyse d'autres polluants de l'air, ainsi que sa généralisation sur d'autres villes du pays constituerons un pas important dans le domaine de recherche sur la pollution atmosphérique, afin de pouvoir fixer des seuils et au-delà respecter les normes internationales.

# *BIBLIOGRAPHIE*

- [1] IARC, International Agency for Research on Cancer, IARC monographs on the evolution of the carcinogenic risk of chemicals to humans, benzene, IARC, Lyon.
- [2] Pierre LE CLOIREC, COV(composés organiques volatils), Technique de l'Ingénieur g1835.2007.
- [3] Pierre MASCLET, Pollution atmosphérique: Causes, conséquences, solutions, perspectives. Ellipses, 2005.
- [4] Feron V J, Arts JHE, Van Bladeren PJ«Volatile Organic Compounds in Indoor Air: Toxicology and Strategy for Further Research » Pollution atmosphérique, 2, 1992.
- [5] Rainer Friedrich., Stefan Reis., Emissions of Air Pollutants : Measurements, Calculations and Uncertainties. Springer., 2004.
- [6] Colls J, Air pollution, FN Spon, London, 1997.
- [7] Alary R., Donati J., Veillard H., La pollution automobile à Paris. Poll.Atmos., Janvier-Mars, 1994, pp. 55-64.
- [8] Donati J., Teneurs en Hydrocarbures aromatiques monocyclique dans l'air ambiant à Paris. Poll.Atmos., Janvier-Mars, 1995, pp. 43-51.
- [9] rapport benzène. Mode de comptabilité Canada 2004.
- [10] Exposition par inhalation aux BTEX dans l'air, source mesure et concentration Aire-04-1056 pdf, 21/12/2004.
- [11] INRS, benzène, FT49, Institut National de Recherche et de Sécurité, 1997, France.
- [12] Kirk R.E et Othmer D.F, Encyclopaedia of chemical technology, vol .3, Wiley Interscience, New-York, 1978.
- [13] [www.ines.fr](http://www.ines.fr)
- [14] Etude de la distribution du benzène en Ile de France au moyen d'échantillonnage passif
- [15] Oudiz A, Fahri F. et Lombard J., La filière benzène, INSERM, rapport n° 49, France.
- [16] Nomiya K. and Nomiya H., Respiratory retention, Uptake and excretion of organic solvents in man, Int. arch. Arbeitsmed, 32, 1974, pp. 75- 83.
- [17] 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
- [18] 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.
- [19] Rinsky R.A., Young R.J. and Smith A.B, Leukemia in benzene workers, Am. J. ind. Med. , 2, 1981, pp. 217-245.

- [20] 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.
- [21] WHO, Air Quality Guidelines for Europe 2ed Ed., WHO Regional Publication Copenhagen, European Series, n°91, 1999.
- [22] NAFTEC, Direction de la production, Communication personnelle, Alger, janvier 29-04-2004.
- [23] CEE Directive 79/831(1979), annexe V partie B-Méthodes pour la détermination de la toxicité.
- [24] 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.
- [25] Journal officiel de la république Française, Décret n° 98-360 du 6 mai 1998, pp, 7196-7200.
- [26] Bundes-Immissionsschutzgesetz- BImSchG ( Federal Clean Air Act), Artikel 40, Section 2, Berlin, 1998.
- [27] [www.wallonie.be](http://www.wallonie.be).
- [28] 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.
- [29] Australian Occupational Health and Safety , Guidance Note on the Interpretation of Exposure Standards for Atmospheric Contaminants in the Occupational Environment.
- [30] Kirk R.E , Othmer D.F., Grayson M et Eckroth D, Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley, New York, 1983.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Sato A., Toxicokinetics of benzene, toluene and xylenes, IARC Sci. Publ. France, vol. 85, ch.3, 1988, p.47-64.
- [34] 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.
- [35] IPCS (International Programme on Chemical Safety), *Environmental Health Criteria* 52. Toluene, IPCS, Organisation Mondiale de la Santé, Genève (Suisse), 1985, 146p.
- [36] 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.
- [37] 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 sixhour toluene exposure", *Scand. J. Work Environ. Health*, n°11, 1985, p.271-280.
- [38] 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.
- [39] Lindbohm M.L., Spontaneous abortions among women exposed to organic solvent, *Am. J. Ind. Med.*, 17, 1990, pp 449-463.
- [40] INERIS, fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques (Ethylbenzène).
- [41] 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.
- [42] [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com).
- [43] Fishbein L., An overview of environmental and toxicological aspects of aromatics hydrocarbons III. Xylene, *Sc. Tol. Environ.*, n°43, 1985, pp.165-183.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] Riihimaki, 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.
- [47] 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.
- [48] [www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)

- [49] Winegar E.D., Keith LH, Sampling and analysis of airborne pollutants, Lewis Publishers, New-York, 1993.
- [50] P. Le Cloirec, Les composés organiques volatils (COV) dans l'environnement, Lavoisier, Paris, 1996.
- [51] Keith L.H and M. Walker, Handbook of air toxics, Sampling, analysis and properties, Lewis Publishers, New-York, 1995.
- [52] Perret R «Etude des différentes techniques utilisables pour la surveillance en continu des rejets atmosphériques des COV» INERIS. Avril1992.
- [53] Keith L.H., Environmental sampling and analysis, a practical guide, Lewis Publishers, New York, 1991.
- [54] Exposition par inhalation au benzène, toluène, ethylbenzène et xylènes (BTEX) dans l'air. Sources, mesures et concentrations., Rapport d'étude N°INERIS-DRC-04-56770-AIRE-n°1056-IZd., 21.12.2004.
- [55] M.KEDDAM « Contribution à l'étude de la pollution de l'air par les hydrocarbures aromatiques monocycliques à Alger » Mémoire de magister, ENP, 2002.
- [56] Davy E, Cailleux A, et Allain P «.Détection et mesure» PoIL Atrnos., Janvier-MarsI995. Pp33-35.
- [57] Grob R.L «Chromatographie analyses of the environment» Ed. Maree! Dekker, 1983.
- [58] Wathne B.M «Measurements of benzene, Telueoe and xylenes in urban air» atmos.Environ, 17(9), 1983. pp.1713-1722.
- [59] Ligocki MP, Pankow J.F« Assessment of adsorption / solvent extraction with polyurethane foam and adsorption/thermal desorption with tenax-GC for the collection and analysis of ambient organic Vapors» Anal. Chem., 57, 1138\_ 1144, 1985.
- [60] [www.radiello.it.fr](http://www.radiello.it.fr)
- [61] Metravalker A.I, Mahan Rao A.M «Chromatographia» 22, 1986, pp. 183-193.
- [62] Lighty J.(1983),chromatographic analysis of the environment,second Edition,M Dekker Inc., New York,724p.
- [63] ADEME, Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air, ADEME Edition, Paris, 2002.
- [64] 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.
- [65] Luxenhofer O., K.Ballschmiter, C4-C14 Alkyl nitrates as organic trace compounds in air Fresenius. J. Anal. Chem., 350, 1994, pp.395-402.

- [66] Joumard R, Andr`e J M, Andr`e M *et al.*, 2004. Exhaust emissions of regulated and non-regulated pollutants of passenger cars[N]. 10th CONAT Congress, automotive and future technologies, 20–22 Oct, 2004, Brasov, Romania, paper CONAT20042079.
- [67] 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.
- [68] 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.
- [69] ( Fabio Murena, Air quality nearby road tra\_c tunnel portals: BTEX monitoring, *Journal of Environmental Sciences* 19(2007) 578–583.)
- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] 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.
- [73] Na K., Y.P. Kim, Seasonal Characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea, *Atm. Env.*, 35, 2001, pp. 2603-2614.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] 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.
- [77] 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.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] K.F. Ho, S.C. Lee\*, H. Guo, W.Y. Tsai Seasonal and diurnal variations of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Hong Kong *Science of the Total Environment* 322 (2004) 155–166.
- [81] Muezzinoglu A., M. Odabasi, L. Onat, Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey, *Atm.Env*, 35, 2001, pp. 753-760.
- [82] A.BOUKADOUM « Etude de la pollution de l'air par les composés aromatiques benzène, toluène et xylène (BTX) à Alger » mémoire de magister, ENP, 2005.
- [83] L.BENAMARA « Contribution à l'étude de la pollution atmosphérique par les BTEX à Alger » mémoire de projet de fin d'étude, ENP, 2007.

# *ANNEXE*

### Dosage des BTEX

Afin d'évaluer les teneurs du Benzène, Toluène, Ethylbenzène, et les Xylènes dans nos échantillons prélevés, cinq gammes d'étalonnage ont été préparées avec les concentrations suivantes : 0.001, 0.002, 0.004, 0.006, et 0.01  $\mu\text{l/ml}$  de  $\text{CS}_2$ .

La préparation de ces gammes a nécessité l'utilisation d'étalon pur en BTEX, nous présentons dans le tableau ci-dessous les caractéristiques.

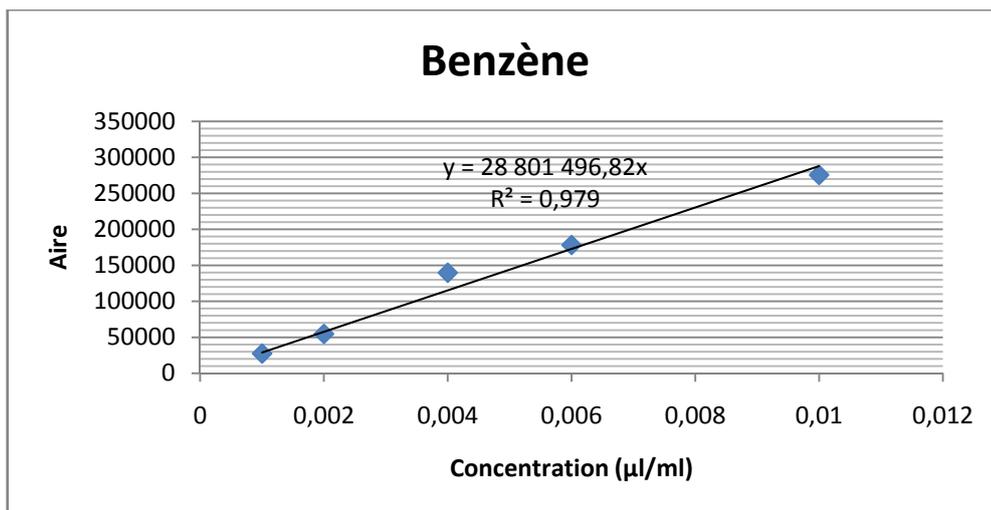
Produit	Fournisseur	Grade	Densité
$\text{CS}_2$	Merck	99,6	0,867
Benzène	Merck	98	0,879
Toluène	Merck	95	0,866
Ethylbenzène	Merck	99	0,867
M.xylène	Merck	98	0,864
P.xylène	Merck	98	0,861
O.xylène	Merck	98	0,880

Une injection de 5 $\mu\text{l}$  pour chaque solution témoin est répétée 3 fois pour évaluer la reproductivité de la réponse en surface des pics chromatographiques.

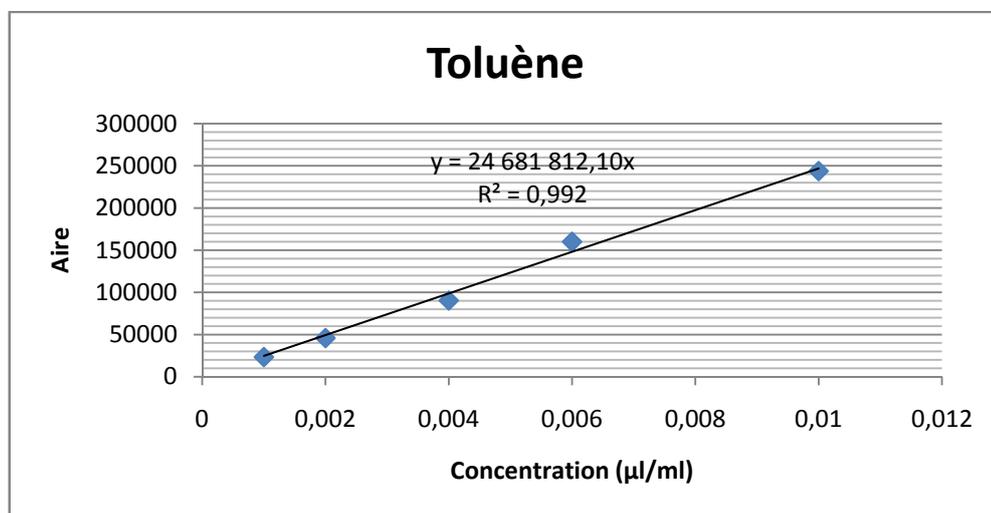
Nous présentons dans le tableau suivant les surfaces des pics des BTEX aux différentes concentrations utilisées de  $\text{CS}_2$ .

C $\mu\text{l/ml}$ de $\text{CS}_2$	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	M.xylène	P.xylène	O.xylène
0,001	27478	23324,5	19251,5	20495,5	20508,5	20495,5
0,002	54774,5	45846	38996	40041,5	38077,5	40041,5
0,004	139788,5	90320,5	77914,5	79022	77394,5	79022
0,006	178224	160061	138983	142829	137795,5	142829
0,01	275631	243838	210937,5	216259,5	210316,5	216259,5

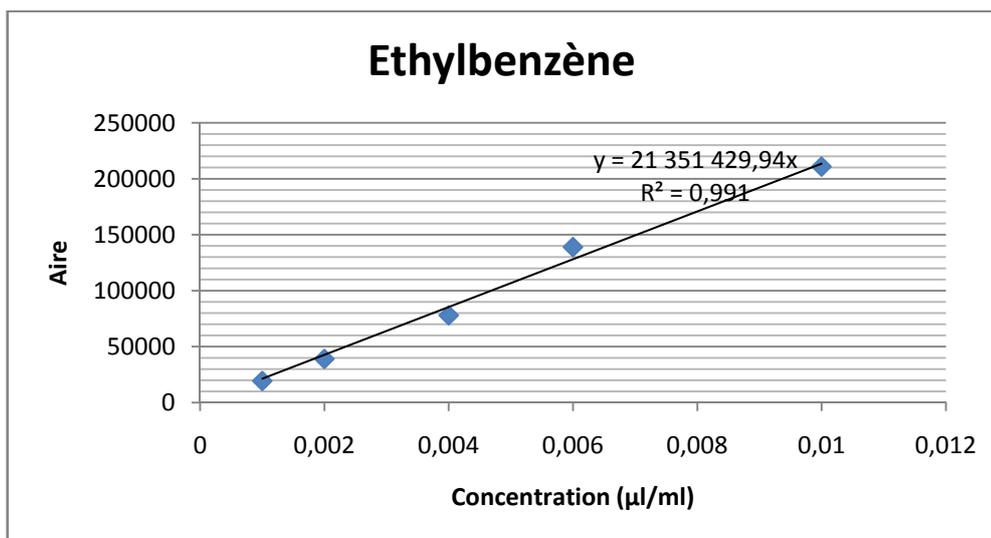
Les figures a, b, c, d, e et f illustrent les courbes d'étalonnage pour les composés BTEX



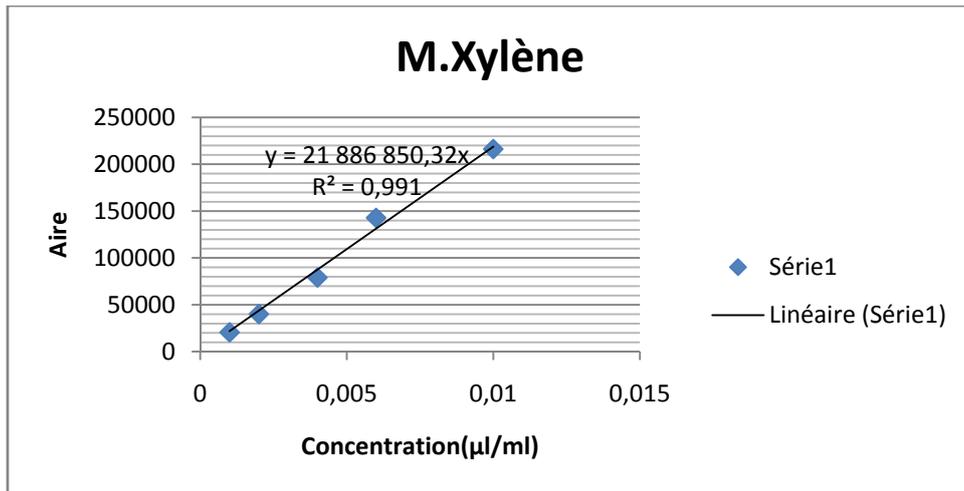
(a)



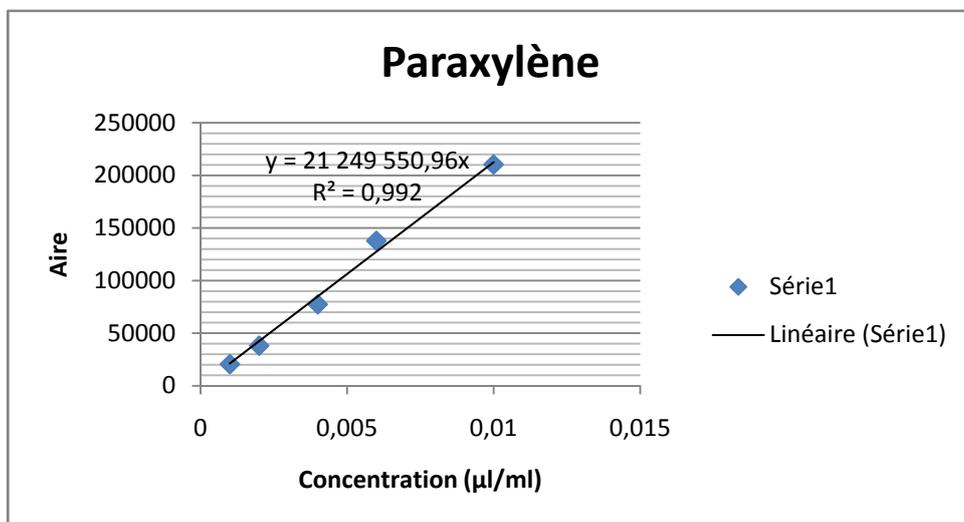
(b)



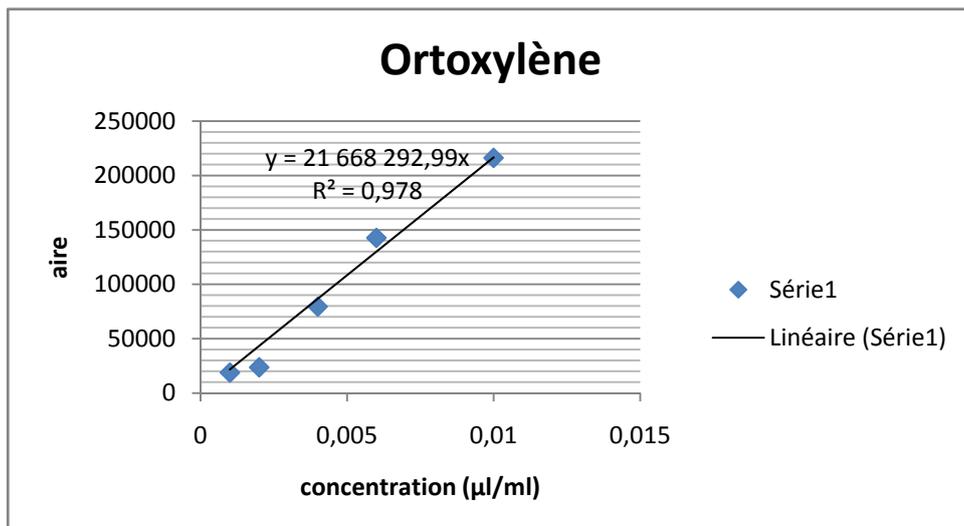
(c)



(d)



(e)



(f)

## Exploitation des résultats

Les résultats trouvés après analyse pour les 3 compagnes d'études sur les 7 sites de prélèvements sont portés sur les tableaux N°03 (a, b et c)

### (a) 1<sup>ère</sup> campagne de mesure ( $T_M=13^\circ\text{C}$ )

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	M.xylène	O.xylène	P.xylène
S <sub>1</sub>	32592,5	18662	2620	2578	1457	4620
S <sub>2</sub>	10673,5	37955	0	0	647	4493
S <sub>3</sub>	70598	13564	6966	0	2861	6343
S <sub>4</sub>	11441	4216	502	547	906	0
S <sub>5</sub>	5214	3783	0	0	0	0
S <sub>5'</sub>	6075,5	3899	0	0	0	0
S <sub>6</sub>	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
S <sub>7</sub>	5621	564	0	0	0	0

### (b) 2<sup>ème</sup> campagne de mesure ( $T_M=16^\circ\text{C}$ )

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	M.xylène	O.xylène	P.xylène
S <sub>1</sub>	23441	4957	0	0	0	0
S <sub>2</sub>	34064,5	61967	2733	0	0	5513
S <sub>3</sub>	59941	13340	0	2203	0	0
S <sub>4</sub>	43440,5	4800	0	0	0	0
S <sub>5</sub>	6023	7417	0	0	0	0
S <sub>5'</sub>	5932,5	6017	0	0	0	0
S <sub>6</sub>	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
S <sub>7</sub>	8194,5	0	0	0	0	0

(c) 3<sup>ème</sup> campagne de mesure ( $T_M=17^\circ\text{C}$ )

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	M.xylène	O.xylène	P.xylène
S <sub>1</sub>	73702,5	11352	0	143	0	5658
S <sub>2</sub>	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
S <sub>3</sub>	45571,5	714	0	0	0	0
S <sub>4</sub>	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
S <sub>5</sub>	23003,5	0	0	0	0	0
S <sub>5'</sub>	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
S <sub>6</sub>	37334,5	3725	0	0	0	0
S <sub>7</sub>	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E

$T_M$  : température moyenne durant la campagne

N.E : non effectué.

Les concentrations des BTEX sont trouvées en combinant ces surfaces avec les courbes d'étalonnages et la formule de calcul.

### La formule

En tenant compte de la vitesse (ou débit) de prélèvement et la durée d'exposition, la formule menant à la concentration est donnée par :

$$C = \frac{m \times 10^6}{U \times t}$$

Où :

- C : concentration massique dans l'air  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ;
- m : masse de produit analysée en  $\mu\text{g}$  ;
- U : vitesse (ou débit) de prélèvement du tube passif en ml/mn ;
- t : temps d'exposition en mn.

## Correction de température

Les débits de prélèvement des tubes passifs sont déterminés (ou calculés à partir des coefficients de diffusion dans l'air) à 25°C.

Pour les prélèvements d'air ambiant, lorsque la température moyenne est très différente (en particulier plus basse), on doit effectuer une correction de la température sous la forme :

$$U_T = U_{25} \times \left( \frac{T + 273}{298} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Où :

- $U_{25}$  = débit de prélèvement de la littérature, à 25°C ;
- T = température moyenne lors du prélèvement, en °C.

Les débits de piégeage à 25°C sont donnés dans le tableau N°04

composé	Débit (ml/mn)
<b>Benzène</b>	80
<b>Toluène</b>	74
<b>Ethylbenzène</b>	68
<b>M.xylène</b>	70
<b>P.xylène</b>	70
<b>O.xylène</b>	65

## Exemple de calcul

Prenons par exemple la surface du benzène trouvée pour le site S<sub>1</sub> pendant la 1<sup>ère</sup> campagne :

A=32592.5, en comparant avec la courbe d'étalonnage du benzène

$C_{\text{benzène}} = 32592,5 / 28801496,85 = 0,0011 \mu\text{l/ml}$ .

Puis on doit trouver la masse du benzène dans 5 $\mu\text{l}$  :

1000  $\mu\text{l}$  de  $\text{CS}_2$   $\rightarrow$  0,0011  $\mu\text{l}$  de Benzène.

Dans 5  $\mu\text{l}$  injectée  $\rightarrow V_t$  ?

$$V_t = 5,5 \cdot 10^{-6} \mu\text{l}.$$

La densité du benzène est  $d_{\text{Benzène}} = 0,879 \text{ mg}/\mu\text{l}$

$$\text{Donc : } m = d \cdot V_t = 0,879 \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 4,83 \cdot 10^{-6} \text{ mg} = 4,83 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}.$$

Hors cette masse se trouve dans 5  $\mu\text{l}$  alors qu'on a utilisé 1,9 ml de  $\text{CS}_2$  pour la désorption donc la vraie masse est :

$$m_{\text{benzène}} = 1900 \cdot 4,83 \cdot 10^{-3} / 5 = 1,83 \mu\text{g}.$$

Avant de procéder à la formule de calcul on doit faire une correction de la température en calculant  $U_T$ .

Pendant la 1<sup>ère</sup> campagne la température moyenne était de 13°C

$$U_T = 80 \cdot ((13 + 273)/298)^{1/2} = 80 \cdot 0,98 = 78,4 \text{ ml/mn}$$

$$t = 7 \text{ jours} = 10080 \text{ mn}.$$

En appliquant la formule de calcul on trouve

$$C_B = 2,49 \mu\text{g}/\text{m}^3.$$

En changeant juste les paramètres, on peut calculer toutes les concentrations des BTEX pour tous les échantillons.

**ملخص :** دراسة التلوث الجوي بواسطة **BTEX** بالعاصمة على ثلاثة مراحل في سبعة مناطق مختلفة سمحت لنا بتحليل كمي لمركبات BTEX

بعد التحليل وجدنا أن البنزين و الطولوين هما المركبان الموجودان بكثرة بتراكيز على التوالي: 3.77 و 1.32 ميكروغ/م<sup>3</sup>، بينما لاحظنا تراكيز منخفضة جدا بالنسبة للمركبين الآخرين.

في المناطق القريبة من حركة المرور تنتحصر معدلات التراكيز للبنزين و الطولوين بين 1.69-12.98 ميكروغ/م<sup>3</sup> و 0.86-4.16 ميكروغ/م<sup>3</sup> على التوالي، بينما تنخفض هاته التراكيز من 5 إلى 14 مرة في المناطق الحضرية و الشبه ريفية

هذه الدراسة أظهرت لنا أن حركة المرور هي المصدر الرئيسي للـ BTEX و تراكيز هذه الاخيرة منخفضة نسبيا في العاصمة مقارنة بمدن أخرى في العالم.

**كلمات مفتاحية :** تلوث الهواء، BTEX، تراكيز، حركة المرور، الجزائر العاصمة.

**Résumé :** l'étude de la pollution atmosphérique par les BTEX à Alger sur sept sites de types différents sur trois campagnes de mesure par la méthode d'échantillonnage passif, nous a permis de quantifier les différents composés BTEX.

Nous avons constaté que le benzène et le toluène sont les composés majoritaires avec des teneurs moyennes de 3,77 et 1,32 µg/m<sup>3</sup> respectivement, par contre les teneurs des autres composés sont beaucoup plus faibles.

Aux sites de proximités les teneurs moyennes en benzène et toluène varient respectivement entre 1,69-12,98 µg/m<sup>3</sup> et 0,86-4,16 µg/m<sup>3</sup>, tandis qu'aux sites urbains de fond et semi rural les teneurs sont 5 à 14 fois plus faibles.

L'étude a montrée que le trafic routier est la source principale d'émission des BTEX, par ailleurs leurs teneurs à Alger ne sont pas très importantes par rapport à d'autres capitales du monde.

**Mots clés :** pollution atmosphérique, benzène, toluène, ethylbenzène, xylène, teneur, trafic routier, Alger.

**Abstract:** atmospheric pollution by BTEX was studied in seven locations of different type in Algiers. The stationary sampling method was employed to quantify the ratio of each element within three experimental campaigns of measurements.

The results show that benzene and toluene are the mainly components present respectively with an average ratio of 3,77 and 1,32 µg/m<sup>3</sup> while the content of the remaining constituent is negligible.

For the nearfield sites, the average content for these two molecules is around 1,69-12,98 µg/m<sup>3</sup> for benzene and 0,86-4,16 µg/m<sup>3</sup> for toluene. The same ratio is 5 to 14 times lower for background urban and semi-rural sites.

This study highlights that the traffic road is the main source of BTEX emission but also that these emissions are not so important compared to other capital cities.

**Keyword:** atmospheric pollution, BTEX ratios, traffic road, Algiers.