



**FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE CHIMIE**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN CHIMIE**

SPECIALITE : *Chimie*

OPTION : *Chimie durable et environnement*

THEME

Analyse qualitative et quantitative des métaux lourds et des composés organiques volatils dans différents sites de la région de Bouira

Présenté par : LOUAFI AMAR

Soutenu le 21/09/2015

Devant le jury :

Président : Mr. KAOUA R Maître de Conférences U. Bouira

Rapporteur : Mr. KHADIDJI Maître de Assistant U. Bouira

Examineur : Mr. DAHMOUNE F Maître de Conférences U. Bouira

Examineur : Mr. BERRICHE L Maître Assistant U. Bouira

Remerciements

*Je remercie DIEU qui ma donné la force
et la patience pour terminer ce travail.*

J'exprime mes sincères remerciements :

*A mon promoteur Mr KHEDIDJI. S maitre de assistant à l'université
de Bouira Pour son aide et ses conseils*

*A Mr KAOUA. R maitre de conférence qui nous a fait l'honneur en
présidant le jury et qui grâce à lui s'est accompli séance de
présentation de mémoire.*

*A Mr DAHMOUN. F maitre de conférence à l'université de Bouira
pour sa présence au sein de jury et on le remercie pour son rôle
d'examineur cela est un honneur pour moi.*

*A Mr BERICH .L maitre assistant à l'université de Bouira d'avoir
accepté d'examiné le mémoire et sa participation au sien de jury.*

*Je tiens à remercier la direction de la cimenterie de Sour el Ghozlane
qui ma permit d'effectué mon stage pratique et la compagnie
d'échantillonnage*

*Je tient à remercier les directions de l'ENAP Lakhdaria et la
protection civile de Tikjda et l'agence de transport de Bouira qui mon
permit d'effectuer la compagnie d'échantillonnage*



*A l'ensemble des enseignants du département
de Chimie.*

*Un grand remerciement au centre de recherche de Bousmail.
et l'Université d'Aveiro au Portugal qui m'ont permit de faire les
analyses*

*Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin
à la réalisation de ce travail.*



Dédicaces

Tout d'abord je voudrais remercier mon grand père et mes chères tantes qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, grâce à eux j'ai pu accomplir ce travail et mettre au jour le fruit de mon labeur.

Je voudrais remercier mon père qui ma soutenu pour accomplir ce travail.

Je voudrais remercier aussi ma chère tante FARIDA qui ma facilite les choses et qui m'a beaucoup aidé.

Je voudrais aussi remercier tous mes amis en particulier mon cher et tendre ami KERAI.O et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin (Omar, Youcef, Toufik) à l'achèvement de ce travail.et qui l'on rendue plus agréable.

LOUAFIA

Liste d'abréviations

ACE	Acétone
Al₂O₃	oxyde d'aluminium
ARN	Acide ribonucléique
ATB	Agence de transport de Bouira
BaP	Benzo[a]pyrene
BeBuPh	Benzyl Butyl phthalate
Biset ad	Bis(2-ethylhexyl)adipate
BTEXs	Benzène –Toluène– Ethylbenzène-Xylènes
BThO	Benzothiazole
CG/MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
COVs	Composés organiques volatils
DBTPH	Dibenzothiophène
DCM	Dichlorométhane
DEPHT	Diéthyle phthalate
DMPHT	Diméthyl phtalate
ENAP	Entreprise Nationale Algérienne des peintures
HCB	Hexachlorobenzéne
HCCPDE	Hexachlorocyclopentadiéne
IsoPh	Isophorone
L/min	Litre par minute
µg/m³	Microgramme par mètre cube
µl	Microlitre
MVS	Medium Volume Sampler (Echantillonnage à moyen volume)
NOx	Oxydes d'azote
ng/m³	Nanogramme par mètre cube
OMS	Organisation mondiale de la santé
PM₁₀	Particulate Matter (Matière particulaire de taille inférieure à 10 µm)
p-Terp	p-Terphenyl
PUF	polyuréthane

Liste d'abréviations

Ret	Retene
SCSEG	La Société des ciments Sour El Ghozlane
SIM	Selected Ion Mass
Tr	Temps de rétention
UCM	Unresolved Complex Mixture
UAMOB	Université Akli Mohand Oulhadj Bouira
US-EPA	Agence Américaine de Protection de l'Environnement
2,4-DNTO	2,4-Dinitrotoluène

Liste des tableaux

Tableau I.1.	Composition chimique de l'atmosphère.....	03
Tableau.I.2.	Impact des substances rejetées dans l'atmosphère.....	04
Tableau.I.3.	Les grandes familles des COVs.....	06
Tableau.I.4.	Classification périodique des éléments.....	09
Tableau.I.5.	Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement.....	11
Tableau.III.1.	Les teneurs atmosphériques mesurées à l'air intérieur de l'entreprise nationale des peintures ENAP et de la société des ciments de Sour el Ghozlane (SCSEG), Mai-Avril 2015.....	41
Tableau.III.2.	Les COVs identifié sur les sites SCSEG, ENAP et Université.....	48
Tableau. III.3.	Les teneurs atmosphériques des composés organiques volatils mesurés à l'air ambiant d'UAMOB, ENAP et SCSEG, Mars-Mai 2015.....	50
Tableau.III.4.	Conditions opératoires pour la courbe d'étalonnage.....	50
Tableau.III.5.	Concentrations moyennes (ng/m ³) journalière des métaux lourds mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene (Avril-Mai 2015).....	52
Tableau III.6.	Valeurs réglementaires en métaux lourds (Directive 2004/107/CE du 15/12/2004.....	55

Liste des figures

Fig.I.1.	Les différentes couches atmosphériques.....	02
Fig.I.2.	Émissions, transformation et dépôts de polluant.....	05
Fig.I.3.	Le cadmium.....	12
Fig.I.4.	Le chrome.....	13
Fig.I.5.	Le mercure.....	13
Fig.I.6.	Le plomb.....	14
Fig. II.1.	Compagne des prélèvements d'aérosol.....	28
Fig. II.2.	Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage Cimenterie SEG.....	29
Fig. II.3.	Image satellitaire présentant l'endroit de Cimenterie SEG.....	30
Fig. II.4.	Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage (UAMOB).....	30
Fig. II.5.	Image satellitaire présentant le site de l'échantillonnage (ENAP).....	31
Fig. II.6.	Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage Gare routière de Bouira.....	32
Fig. II.7.	Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage Tikjda (protection civile).....	32
Fig. II.8.	Filtre avant et après le piégeage des particules.....	33
Fig. II.9.	Montage de soxhlet.....	34
Fig. II.10.	évaporateur rotatif.....	35
Fig. II.11.	Organigramme de la procédure pré-analytique.....	36
Fig. II.12.	Montage d'un chauffage à reflux.....	38
Fig. II.13.	Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.....	39
Fig.III.1.	Variation journalière des PM ₁₀ mesurée à ENAP et SCSEG.....	42
Fig.III.2.	Variation journalière des teneurs des PM ₁₀ mesurée a Tikjda, (SCSEG) UAMOB, Agence.....	43
Fig.III.3.	Profil moyen journalier des températures mesurées à de la société des ciments de Sour el Ghozlane (SCSEG).....	44
Fig.III.4.	Profil moyen journalier des températures mesurées dans l'entreprise nationale des peintures(ENAP) de Lakhdaria.....	44

Liste des figures

Fig. III.5.	Profil moyen journalier des températures mesurées à l'Université de Bouira(UAMOB).....	45
Fig.III.6.	Profil moyen journalier des températures mesurées à l'agence de transport de Bouira.....	45
Fig.III.7.	Profil moyen journalier de l'humidité mesurée à la société des ciments de Sour el Ghozlane (SCSEG).....	46
Fig.III.8.	Profil moyen journalier de l'humidité mesurée dans l'entreprise nationale des peintures (ENAP) de Lakhdaria	47
Fig.III.9.	Profil moyen journalier de l'humidité mesurée à l'Université de Bouira.....	47
Fig.III.10.	Profil moyen journalier de l'humidité mesurée à l'agence de transport de Bouira.....	48
Fig.III.11.	Profil de distribution des concentrations moyennes journalière des COVs mesurées à l'UAMOB, ENAP, SCSEG.....	49
Fig.III.12	Courbes d'étalonnages utilisées pour le dosage des métaux lourds...	51
Fig.III.13	Profil de distribution des concentrations moyennes journalière des métaux lourds mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene (Avril-Mai 2015).....	53
Fig.III.14	Distribution moyenne des concentrations totales des métaux lourds mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene (Avril-Mai 2015).....	54

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
ABREVIATIONS	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
SOMMAIRE	
INTRODUCTION GENERALE.....	01

Chapitre I : Généralités

I.1.	L'atmosphère.....	02
I.1.1.	Définition de l'atmosphère.....	02
I.1.2.	Caractéristiques de l'atmosphère.....	02
I.1.3.	Constitution de l'atmosphère.....	02
I.2.	Pollution atmosphérique.....	04
I.2.1.	Définition de la pollution atmosphérique.....	04
I.2.2.	Les principaux polluants atmosphériques.....	04
I.2.3.	Evaluation des polluants atmosphériques.....	04
I.3.	Les composés organiques volatils (COV).....	05
I.3.	L'influence des COVs sur l'environnement.....	06
I.4.	Les aérosols.....	07
I.4.1.	Définition des aérosols.....	07
I.4.2.	Sources des aérosols.....	07
I.4.3.	Composition chimique des aérosols.....	07
I.5.	Les métaux lourds.....	08
I.5.1.	Définition des métaux lourds.....	08
I.5.2.	Caractéristiques des métaux.....	09
I.5.2.1.	Propriétés physico-chimiques des métaux lourds.....	09
I.5.2.2.	Importances physiologiques des métaux.....	09
I.5.3.	Les sources d'émission.....	10
I.5.3.1.	Les sources naturelles.....	10
I.5.3.2.	Les sources anthropiques.....	11
I.6.	Utilisation des métaux lourds.....	12
I.6.1.	L'arsenic.....	12

I.6.2.	Le cadmium.....	12
I.6.3.	Le chrome.....	13
I.6.4.	Le mercure.....	13
I.6.5.	Le plomb.....	14
I.7.	Impact des métaux lourds sur l'environnement.....	14
I.8.	Impact sur l'homme.....	15
I.8.1.	Exposition de l'homme aux métaux lourds.....	15
I.8.2.	Absorption par voie respiratoire.....	16
I.9.	Toxicité des métaux lourds.....	17
I.9.1.	Toxicité aigüe.....	17
I.9.1.1.	Arsenic(As).....	17
I.9.1.2.	Cadmium(Cd).....	17
I.9.1.3.	Chrome(Cr).....	18
I.9.1.4.	Nickel(Ni).....	18
I.9.1.5.	Plomb(Pb).....	18
I.9.1.6.	Zinc(Zn).....	18
I.9.2.	Toxicité chronique.....	19
I.9.2.1.	Arsenic(As).....	19
I.9.2.2.	Cadmium(Cd).....	19
I.9.2.3.	Chrome (Cr).....	20
I.9.2.4.	Nickel(Ni).....	20
I.9.2.5.	Plomb(Pb).....	21
I.9.2.6.	Zinc(Zn).....	22
I.9.3.	Classement cancérogénicité.....	22
I.10.	Réglementation.....	23
I.11.	Valeurs de référence.....	24
	Référence.....	25

Chapitre II : Partie Expérimentale

II.1.	Echantillonnage.....	28
II.1.1.	Matériels et la période d'investigation.....	28
II.1.2.	Préparation des filtres.....	29
II.1.3.	Description des sites.....	29
II.1.3.1.	La Société des Ciments de Sour El Ghozlane (SCSEG).....	29
II.1.3.2.	Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira (UAMOB).....	30
II.1.3.3.	L'Entreprise Nationale des Peintures (ENAP).....	31
II.1.3.4.	Agence de transport à Bouira (ATB).....	31
II.1.3.5.	Tikjda.....	32
II.2.	Mesure des particules par la gravimétrie.....	33
II.3.	Extraction des Composés Organiques Volatils (COVs).....	33
II.4.	Concentration des Composés Organiques Volatils (COVs).....	35
II.5.	Purification des Composés Organiques Volatils (COVs).....	35
II.6.	Analyses des Composés Organiques Volatils (COVs) par GC/MS.....	37
II.7.	Extraction des métaux lourds collectée par l'échantillonnage active.....	37
II.7.1.	Extraction par chauffage à reflux.....	37
II.7.2.	Préparation des solutions.....	38
II.8.	Analyse des métaux lourds par la spectroscopie d'absorption atomique SAA...	38
	Référence.....	40

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1.	Les teneurs journalières en PM ₁₀ dans la région de Bouira.....	41
III.1.1.	Teneurs journalières en PM ₁₀ dans l'air intérieur des locaux (ENAP et SCSEG).....	41
III.1.2.	Teneurs journalières en PM ₁₀ dans L'air extérieur des locaux (SCSEG, UAMOB, Tikjda et l'agence de transport).....	42
III.1.3.	Influence de la température.....	43
III.1.4.	Influence de l'humidité.....	46
III.2.	Les Composés Organiques Volatils (COVs).....	48
III.3.	Les métaux lourds.....	50

III.3.1.	Les courbes d'étalonnage des métaux lourds	51
III.3.2.	Les teneurs atmosphériques en (ng/m ³) pour les métaux lourds.....	52
III.4.	Les normes des métaux lourds.....	55
	Référence.....	56
	Conclusion générale	57

Introduction générale

Le problème de la pollution de l'air date de l'apparition même de la vie sur notre planète. Mais cette pollution n'a atteint un caractère de réelle gravité que depuis quelques décades, par le développement industriel, qui a pour corollaire la croissance démesurée et incontrôlée des agglomérations urbaines par migration irréversibles des populations rurales vers les villes. Ce sont les habitants de ces métropoles qui, d'une manière générale, sont les plus affectés par le phénomène.

Les études de la pollution permettent d'apprécier non seulement ce danger sur la santé de L'homme mais la part exacte de responsabilités imputables aux seuls activités techniques dans la pollution d'ensemble d'un lieu donné.

Les composés organiques volatils et les métaux lourds dans l'atmosphère jouent un rôle important dans la modification des conditions de vie sur la terre, d'une part, ils contribuent à l'évolution du climat en intervenant sur le bilan radiatif terrestre. D'autre part, ils peuvent être nocifs pour la santé humaine [1].

L'objectif principal de ce travail de mémoire c'est d'étudier la pollution de l'air à la région de Bouira. Nous voulions, à l'échelle du laboratoire confirmer l'existence des composés organiques volatils et les métaux lourds dans l'air et leurs effets sur l'environnement. Notre travail a donc consisté à confronter et élaborer une série d'expérimentation à l'échelle du laboratoire pour obtenir le maximum d'informations.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre consiste à des généralités sur l'atmosphère et les différents polluants atmosphériques.

Le deuxième chapitre est dédié aux conditions d'échantillonnage, d'extraction et d'analyse des composés organique volatils et des métaux lourds.

Le troisième chapitre concerne les résultats obtenus par la méthode d'analyse CG/SM et la spectroscopie d'absorption atomique SAA.

Chapitre I : Généralités

I.1. L'atmosphère

I.1.1 Définition de l'atmosphère

L'atmosphère est la couche gazeuse qui constitue l'enveloppe de la terre elle est composée de plusieurs couches superposées mais son épaisseur total est difficile à préciser car le nombre de molécules de gaz par mètre cube diminue progressivement avec l'altitude. Nous estimons toutefois que 99% de la masse d'air atmosphérique se situe entre le niveau du sol et l'altitude de 30 kilomètres [1].

I.1.2. Caractéristiques de l'atmosphère

Les caractéristiques physiques de l'atmosphère telle que la pression et la température subissent des variations importantes lorsqu'on s'éloigne du sol terrestre. La pression atmosphérique diminue, en relation avec la raréfaction progressive en molécules de gaz. La température subit, quant à elle, des variations plus complexes, aux quelles sont associées les couches atmosphériques : troposphère, stratosphère, mésosphère et thermosphère qui définissent la structure verticale [2].

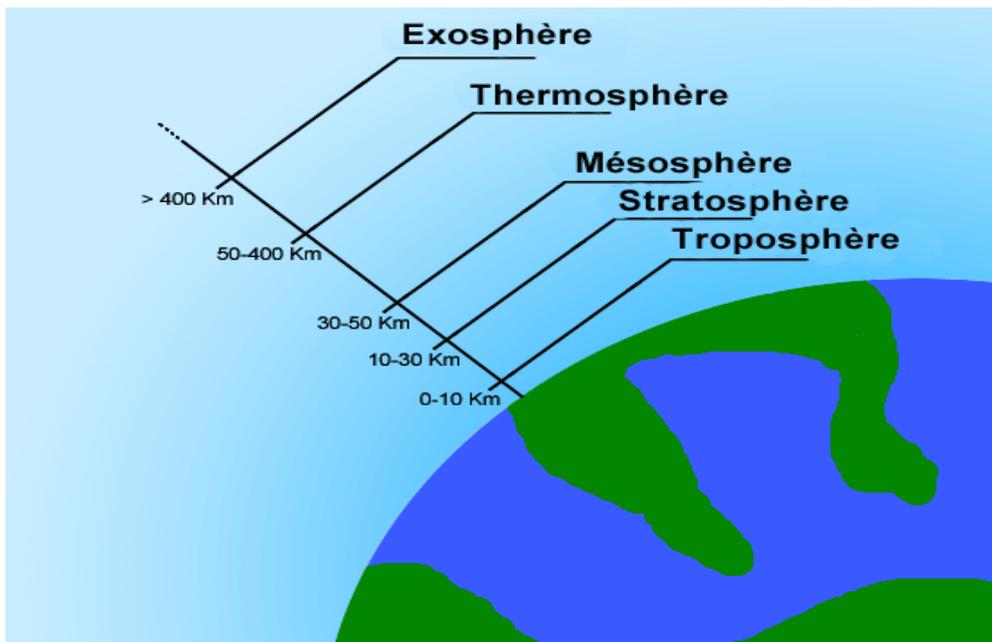


Fig. I.1. Les différentes couches atmosphériques [2].

I.1.3. Constitution de l'atmosphère

L'air, principalement concentré dans la troposphère, est composé essentiellement d'azote et d'oxygène. En pourcentage, l'air sec est constitué de 78.08% d'azote, 20.94 % d'oxygène, 0.093% d'argon et de 0.038% de dioxyde de carbone (Tableau I.1). S'ajoutent à cela la vapeur d'eau et les aérosols. Les aérosols sont des particules liquide ou solides de taille 0.001 à 10µm environ, d'origine et de nature variée [3].

Tableau I.1. Composition chimique de l'atmosphère [4].

Constituant	Formule chimique	Rapport volumique	Sources majoritaires et remarques
Azote	N ₂	78,084%	Biologique
Oxygène	O ₂	20,948%	Biologique
Argon	Ar	0,934%	Inerte
Dioxyde de carbone	CO ₂	360 ppmv	Combustion, océan, Biosphère
Méthane	CH ₄	1,7 ppmv	Biogénique et anthropique
Hydrogène	H ₂	0,55 ppmv	Biogénique, anthropique et photochimique
Oxyde nitreux	N ₂ O	0,31 ppmv	Biotique et anthropique
Monoxyde de carbone	CO	50-200 ppbv	Photochimique et anthropique
Ozone troposphérique	O ₃	10-500 ppbv	Photochimique
Ozone stratosphérique	O ₃	0,5-10 ppm	Photochimique
Hydrocarbure non méthanique	C _x H _y	5-20 ppbv	Biogénique et anthropique
Espèces azotées	NO _x	10 ppt-1ppm	Sols, foudre, anthropique
Ammoniac	NH ₃	10 ppt-1 ppb	Biogénique
Radicaux hydroxyles	OH	0,1-10 ppt	Photochimique
Radicaux peroxydes	HO ₂	0,1-10 ppt	Photochimique
Péroxyde d'hydrogène	H ₂ O ₂	0,1 ppb-10 ppb	Photochimique
Formaldéhyde	CH ₂ O	0,1-1 ppb	Photochimique
Dioxyde de soufre	SO ₂	10 ppt- 1 ppb	Photochimique, volcanique, anthropique
Sulfure de diméthyle	CH ₃ SCH ₃	10 ppt-100 ppt	Biogénique
Disulfure de carbone	CS ₂	1 ppt-300 ppt	Biogénique et anthropique
Sulfure de carbone	OCS	500 pptv	Biogénique, volcanique, anthropique

I.2. Pollution atmosphérique

I.2.1. Définition

La pollution atmosphérique est une dégradation de la qualité de l'air. Elle est causée par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations élevées, suffisantes pour créer un effet toxique menaçant notre écosystème. Avant d'évaluer ce phénomène, il convient de connaître la structure et la composition de notre atmosphère [5].

I.2.2. Les principaux polluants atmosphériques

Un polluant est un corps d'origine anthropique ou non, à l'état solide, liquide ou gazeux, contenu dans l'atmosphère et qui ne fait pas partie de la composition normale de l'air ou qui est présent en quantité anormalement grande. Selon leur mode de production nous pouvons classer les polluants en deux catégories :

- Les polluants primaires ; qui sont émis directement dans l'air par des sources identifiables naturelles ou anthropiques.
- Les polluants secondaires ; qui sont produits dans l'air par l'interaction de deux ou plusieurs polluants primaires ou par réaction avec les constituants normaux de l'atmosphère, avec ou sans photo activation [6].

Le type de pollution observé dépend de la nature des polluants.

Tableau I.2 : Impact des substances rejetées dans l'atmosphère

Nature de la pollution	Emission responsable
Acidification	SO ₂ , NO _x , HCl, NH ₃
Contamination du sol et des eaux	Métaux lourds, polluants organiques persistants (POPs)
Destruction de la couche d'ozone	CFC
Oxydation photochimique	NO _x , COV hors méthane
Effet de serre	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SF ₆ , HFC, PFC indirectement : CO, COV, NO _x , SO ₂
Impact sur la santé	SO ₂ , NO _x , COV, CO, HCl, poussières, métaux lourds, POPs

I.2.3. Evaluation des polluants atmosphériques

Pour évaluer les effets de la pollution de l'air, il est nécessaire de prendre compte trois facteurs :

- L'émission.
- Le transport.
- La transformation chimique des polluants.

Des paramètres relatifs à la source des polluants (hauteur de rejet, débit, température...), des paramètres météorologiques et climatiques et des paramètres topographiques jouent un rôle prépondérant dans le transport et la transformation chimique des polluants [7].

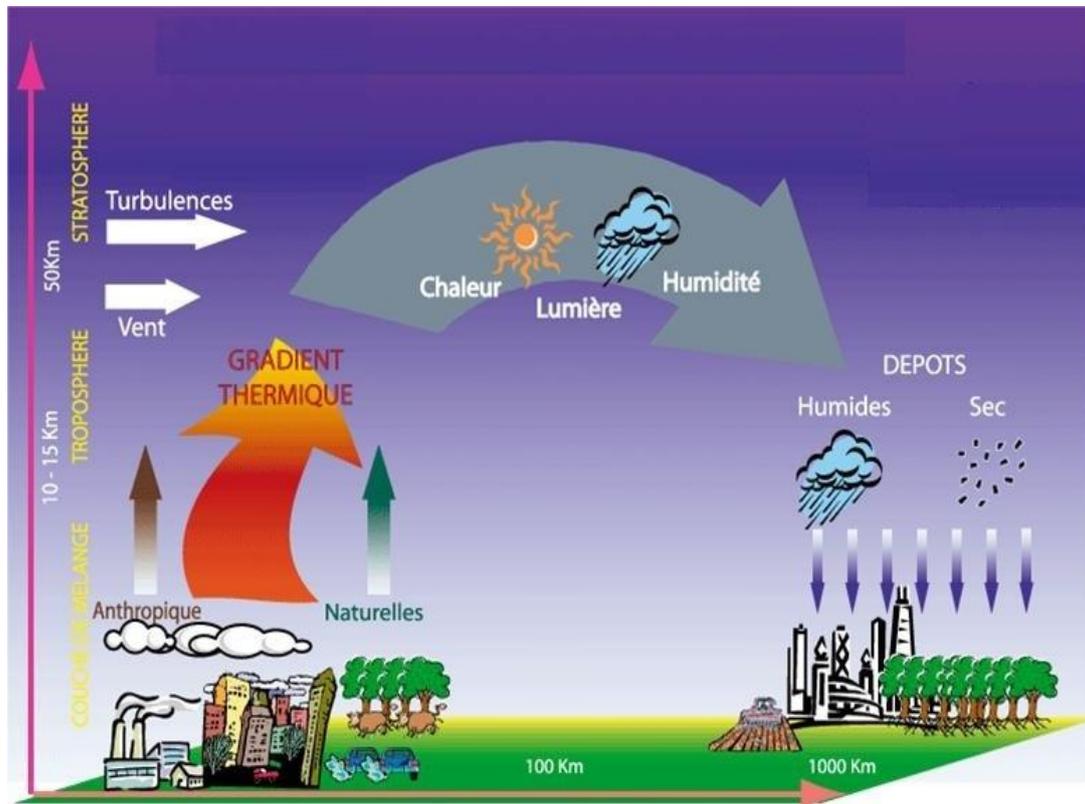


Fig. I.2. Émissions, transformation et dépôts de polluant [7].

I.3. Les composés organiques volatils (COVs)

Les composés organiques volatils (COVs) sont des substances dont la tension de vapeur à température ambiante est suffisamment élevée pour être presque totalement à l'état de vapeur. L'Agence de protection de l'environnement (APE) précise qu'il s'agit de composés organiques ayant en commun "une tension de vapeur supérieure à 0,13 Pa à 0°C" et "une longévité 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 d'effets de serre". En Europe, dans la proposition de directive communautaire sur la réduction des émissions de solvants dans l'atmosphère, le seuil de tension de vapeur au-delà duquel le composé organique est considéré être volatil est 10 Pa à 293,15 K [8]. Le tableau I.3 regroupe les principales familles des COVs.

Tableau I.3 : Les grandes familles des COVs.

Familles de composés	Exemples
Hydrocarbures Aliphatiques	Heptane, hexanes, pentane ...
Hydrocarbures aromatiques	Benzène, toluène, éthylbenzène, et xylène (BTEX)
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Benzo(a)Pyrène
Alcools	Ethanol, méthanol, butanol,
Cétones	Acétone, méthyléthylcétone, cyclohexanone
Ester	Acétate d'éthyles, de butyles, d'isopropyles
Chlorés	Perchloréthylène, trichloréthylène, Dichlorométhane
Composés azotés	Amines, nitriles
Composés soufrés	Mercaptans, diméthylsulfure ...
Ethers	1,4-dioxane
Aldéhydes	Formaldéhyde

I.3.L'influence des COVs sur l'environnement :

Parmi les effets directs des COVs sur le milieu naturel, nous notons l'importance du méthane concernant l'effet de serre et le réchauffement de la planète. Les COVs pourraient également avoir une action directe sur les peuplements végétaux et sur les populations animales et des études débutent pour tenter de démontrer leur influence. Les COVs sont également responsables de la destruction d'ozone stratosphérique, et sont souvent impliqués dans des problèmes d'odeurs.

Si nous nous intéressons maintenant aux conséquences indirectes, l'ozone troposphérique se forme lors de mécanismes complexes où les composés organiques volatils jouent un rôle essentiel. En ce qui concerne le climat, l'ozone absorbe dans l'infra-rouge avec un coefficient 2000 fois plus important, vis-à-vis du rayonnement par les sols, qu'une molécule de gaz carbonique. La part relative de l'ozone dans l'effet de serre additionné, sur l'ensemble de la planète est estimée à 18%. De plus, l'ozone crée des dommages sur les feuillages et les fonctions vitales des plantes à des concentrations importantes. [9]

I.4. Les aérosols

I.4.1. Définition

Les particules en suspension dans l'air, encore appelées aérosols, sont constituées de substances solides et/ou liquides, présentant une vitesse de chute négligeable. Minérales ou organiques, composées de matières vivantes (pollens...) ou non, grosses ou fines, les particules en suspension constituent un ensemble extrêmement hétérogène de polluants dont la taille varie de quelques dixièmes de nanomètres à une centaine de micromètres. [10]

I.4.2. Sources des aérosols

Nous distinguons les particules primaires, directement émises dans l'atmosphère, des particules secondaires formées à partir des processus de nucléation et de condensation. Les sources peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Une part importante des aérosols atmosphériques est d'origine naturelle. A titre d'exemple de sources primaires, on peut citer principalement l'érosion de poussières sous l'action du vent, la formation d'aérosols marins libérées par l'éclatement à la surface de l'océan de bulles d'air formées lors du déferlement des vagues, les éruptions volcaniques ou encore les aérosols biogéniques de manière générale. La formation des nuages, brouillards ou brumes est liée à la condensation de vapeur d'eau sur les aérosols (les CCN, Cloud Condensation Nuclei en anglais). Les hydrométéores ainsi formées sont donc des particules secondaires. Les aérosols d'origine anthropique proviennent, quant à eux, principalement du trafic routier et des différentes activités industrielles. Cependant, on pourrait noter également tous les processus de combustion tels que les feux de bois, qui ont eu par le passé des conséquences sanitaires désastreuses, ou encore la fumée de cigarettes. L'émission de composés organiques volatils (COVs) d'origine anthropique est une source d'aérosols secondaires. En effet, ces COVs peuvent être oxydés dans l'atmosphère pour donner naissance à des composés dont la pression de vapeur saturante est suffisamment faible pour former des aérosols secondaires par des processus de condensation sur des particules existantes. [11]

I.4.3. Composition chimique des aérosols

Parmi les espèces primaires, nous pouvons citer le carbone-suie, le sable ou les espèces organiques primaires. Pour les espèces secondaires, on distingue principalement les aérosols inorganiques des aérosols organiques. Les principales espèces inorganiques simulées dans les modèles d'aérosols sont les sulfates, les nitrates, les chlorates, l'ammonium et le sodium. Les aérosols organiques secondaires (SOA) sont essentiellement des aromatiques, mais peuvent aussi comprendre des pinènes, des alcènes ou des alcanes. Les espèces organiques pouvant mener à la formation des SOA sont issues des COVs (COSV, composés organiques

semivolatils), et principalement des mono-terpènes, mais de plus en plus d'études tendent à montrer l'importance et à tenir compte des composés issus des isoprènes et du benzène. Les processus de formation des SOA peuvent suivre des schémas chimiques complexes, dont beaucoup restent encore inconnus. La formation des SOA in situ est surtout mal comprise, les composants des SOA ayant été étudiés principalement dans des expériences en chambre confinés. [12]

I.5. Les métaux lourds

Les métaux lourds constituent un groupe d'éléments très différents. Tous ces éléments peuvent se présenter sous un grand nombre de formes de composés différents. Le comportement et les risques dépendent fortement des conditions de l'environnement. Certains métaux sont des éléments nutritifs essentiels, d'autres connus comme étant toxiques. Un aspect particulier est que tous les métaux lourds sont naturellement présents dans le sol.

I.5.1. Définition des métaux lourds

Les éléments de la table périodique peuvent être classés, en fonction de certaines caractéristiques physiques et chimiques, en métaux et non métaux, à l'exception d'un petit nombre qualifié de métalloïdes. Le terme métaux lourds est un mot ambigu et dont la définition varie d'une source à l'autre. En général les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels, de densité supérieure à 5 g/cm^3 et tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium ($Z=11$). Les métaux lourds montrés dans le tableau I.1, sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles sous forme de traces. Il s'agit de tous les éléments de transition possédant une orbital d'insaturée, y compris les lanthanides et les actinides (bloc d et f de la classification de Mendeleïev), à l'exception du scandium, du titane et de l'yttrium. On classe de même parmi les métaux lourds, les éléments intermédiaires les moins électronégatifs du bloc p, parmi lesquels figurent le plomb et l'étain. [13]

Bloc S		<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></div> Métaux lourds de densité > 5 </div>										Bloc p					
H																	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

Tableau I.4 : Classification périodique des métaux lourds de densité. [14]

I.5.2. Caractéristiques des métaux

I.5.2.1. Propriétés physico-chimiques des métaux lourds

Les métaux lourds possèdent les propriétés physiques générales des métaux (bonne conductivité thermique et électrique). Ils sont fortement électropositifs et donnent par perte d'électrons des cations métalliques de charge variable. Ces cations métalliques, qui présentent à la fois des densités de charge élevées et un caractère électrophile, peuvent former avec des ligands des liaisons ioniques, covalentes ou intermédiaires, et donnent naissance à des complexes plus ou moins stables. [15]

I.5.2.2. Importances physiologiques des métaux

Certains éléments du tableau périodiques, sont nécessaires aux organismes vivants en faible quantité : Zn, Cu, Mn, Ni, Fe, B, Co et se sont des oligo-éléments nécessaires à la nutrition des plantes. Ils interviennent également dans les réactions métaboliques, ou dans des réactions biochimiques telles que l'oxydoréduction ou l'hydrolyse. Les oligo-éléments sont généralement présents dans l'eau et aliments. Leur absence peut entraîner des carences. Cependant, l'augmentation de la concentration de ces éléments est nocive pour les organismes vivants. D'autres éléments comme le cadmium, le plomb, le mercure, etc... ne sont pas essentielles pour les organismes vivants et ne produisent que les effets toxiques. [16]

I.5.3. Les sources d'émission

Poser la question des conséquences des métaux lourds sur l'environnement peut paraître à certains égards incongrus dans la mesure où les métaux lourds sont des éléments naturels, présents dans tous les compartiments de notre environnement, l'air, l'eau, les sols.

I.5.3.1. Les sources naturelles

a) Les gisements de métaux lourds

Si l'on s'intéresse aux effets sur la santé de quelques microgrammes de métal (0,000001 gramme), les gisements des métaux lourds au sein de la biosphère se chiffrent par millions de tonnes. Les métaux lourds se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement. Selon les métaux, les réserves les plus importantes se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques. On estime le gisement de mercure à 300 milliards de tonnes dont 99 % se trouvent dans les sédiments océaniques.

Les métaux lourds, comme tout minerai, sont présents dans les roches, et sont diffusés avec l'érosion. Les métaux lourds en surface ne viennent cependant pas tous de la roche, puisqu'il peut y avoir cumul entre ce qui vient du sous-sol et ce qui est apporté par l'air, qui peut provenir de très loin (plomb dans les glaces des pôles).

En règle générale, les métaux sont fixés dans les roches sous deux formes. Il y a d'une part, les oxydes et silicates, peu altérables en climat tempéré. Les oxydes sont libérés de la roche par érosion et transportés tels quels dans les sols et sédiments. Il y a d'autre part, les sulfures et carbonates, très altérables, qui seront attaqués chimiquement. Les métaux changeront de support. Une partie soluble sera évacuée avec l'eau, vers les sols, les sédiments ou la nappe phréatique. Une partie sera piégée dans les argiles et sédiments de ruisseau.

Dans les climats tempérés, le passage des métaux lourds de la roche vers le sol s'accompagne d'une diminution des concentrations du métal dans son environnement par un mécanisme de dilution. Le taux de dilution, qui dépend de la solubilité du métal et des caractéristiques de la roche, est souvent supérieur à 80 %. Ces métaux lourds sont répartis sur l'ensemble de la surface du globe. [17]

b) Le passage du minerai au contaminant

Ces gisements naturels, enfouis dans les roches, deviennent accessibles et contaminants potentiels à quatre occasions :

- l'exploitation (les mines) et l'utilisation,
- l'érosion qui transporte les métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments,
- les prélèvements d'eau. En puisant dans des nappes phréatiques de plus en plus profondes, nous pouvons tomber sur une nappe contaminée par une roche très chargée

en métaux lourds. Cette source de mobilisation des métaux lourds est la moins connue, mais aujourd'hui l'une des plus fréquentes,

- les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines. Une éruption volcanique libère surtout de grosses quantités de gaz carbonique et de soufre, mais aussi des métaux lourds. On estime que les volcans libèrent en moyenne annuelle dans le monde, de 800 à 1.400 tonnes de cadmium, 18.800 à 27.000 tonnes de cuivre, 3.200 à 4.200 tonnes de plomb, et 1.000 tonnes de mercure dans l'atmosphère.

Il y a donc des sources de contamination naturelles. Une fois en circulation, les métaux se distribuent dans tous les compartiments de la biosphère : terre, air, océan.

Les échanges sont permanents et se chiffrent par milliers ou centaines de milliers de tonnes.

Les flux naturels sont complétés par les flux d'origine anthropique [17].

I.5.3.2. Les sources anthropiques

L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciations) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres éléments.

Tableau I.5 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement.

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides, conservateurs)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agent de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

I.6. Utilisation des métaux lourds

Pourquoi l'homme utilise-t-il des métaux lourds ?

Les métaux, en particulier les métaux lourds présentent une utilité, et sont indispensables pour l'homme. En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d'une grande variété de produits, et se retrouvent à de nombreux niveaux: métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc. Il semble donc assez difficile de s'en passer et de les substituer.

I.6.1. L'arsenic

L'arsenic a été largement utilisé en agriculture et dans l'industrie pour éliminer une multitude d'organismes ou en réduire le nombre. Les traitements fongicides pour les semences et l'application d'insecticides sur les cultures sont des exemples d'utilisations passées. Dont certaines ont été abandonnées. Aujourd'hui, l'arsenic et ses dérivés sont employés dans les applications suivantes: traitement du bois sous pression, fabrication d'émail et de céramique en verrerie, durcissement des alliages de cuivre et de plomb en métallurgie [18].

I.6.2. Le cadmium

Le cadmium est récupéré lors de l'élaboration du zinc, du plomb et du cuivre. Appliqué en couche mince, il protège l'acier contre la corrosion. Il constitue les plaques négatives des accumulateurs au nickel-cadmium. Le cadmium entre dans la composition d'alliages dont il abaisse le point de fusion et d'alliages antifriction.

Absorbant fortement les neutrons lents, le cadmium est utilisé pour la commande des réacteurs nucléaires et le blindage d'appareils de mesure. Les sels de cadmium sont employés dans la photographie, la fabrication des feux d'artifice, les caoutchoucs, la porcelaine, etc. Les oxydes de cadmium sont utilisés dans l'industrie chimique, pour la galvanoplastie, dans les accumulateurs électriques, comme stabilisants pour matières plastiques, et pigment pour émaux.

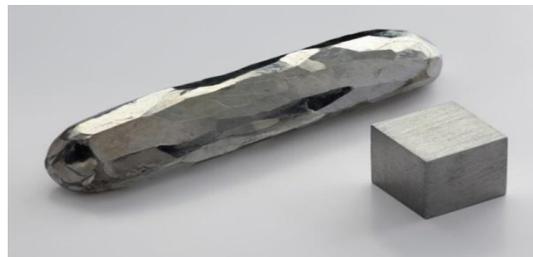


Fig. I.3. Le cadmium.

I.6.3. Le chrome

Le chrome, est utilisé sous forme de chromite (FeOCrO_2) dans l'industrie métallurgique et dans l'industrie chimique. Nous le retrouvons également sous la forme de ferrochrome, utilisé pour la production d'aciers inoxydables et d'alliages divers. Le chrome est également employé comme pigment pour la peinture, le caoutchouc, le papier, l'encre d'imprimerie, ou encore pour le tannage des peaux. Réalisé industriellement depuis 1920, le chromage est utilisé pour donner un aspect décoratif et assurer une bonne résistance à la corrosion atmosphérique [18].



Fig. I.4. Le chrome.

I.6.4. Le mercure

On obtient le mercure par grillage du cinabre (sulfure de mercure). Il se combine avec d'autres métaux pour former des alliages, appelés amalgames. Il permet d'extraire l'or et l'argent avec lesquels il se combine. On l'emploie dans la fabrication de thermomètres, baromètres, pompes à vides, lampes et redresseurs à vapeurs de mercure. Il sert à l'étamage des glaces, à la fabrication de colorants, il entre dans la composition des cosmétiques (mascara), des adhésifs, des filtres des systèmes à air conditionné, etc. Employé en thérapeutique depuis l'Antiquité, le mercure a perdu de son intérêt au profit d'autres médicaments plus actifs et moins toxiques. Sont parfois employés le bichlorure (sublimé) comme antiseptique, le protochlorure (calomel) comme purgatif, les oxydes jaunes et rouges en pommades dermatologique et ophtalmologique. En France, ils sont utilisés de moins en moins pour la désinfection des plaies la mercurésceïne et le mercurobotol [18].



Fig. I.5. Le mercure.

I.6.5. Le plomb

La fabrication des accumulateurs constitue la principale utilisation du plomb (environ 50 % de la consommation totale). Les caractères d'imprimerie, les gaines de câbles électriques et les tuyaux pour les canalisations d'eau et de gaz constituaient des marchés importants qui ont considérablement diminué. D'autres comme les bandes et les tables de plomb laminé pour les couvertures et l'insonorisation dans le bâtiment, le plomb de chasse, les capsules de bouteilles et les métaux d'apport pour soudures se maintiennent ou éventuellement progressent. Les plaques de plomb sont utilisées dans la lutte contre la corrosion (industrie chimique) et dans la protection contre les rayonnements (installations utilisant les rayons X ou γ , énergie nucléaire). Le plomb entre dans la composition de nombreux alliages à bas point de fusion et d'alliages antifriction (avec de l'étain ou du cuivre). Les composés chimiques du plomb sont importants pour leurs applications industrielles: matière active des accumulateurs, cristallerie, verrerie technique (tubes de télévision), fabrication des pigments, de peintures anticorrosion, de stabilisants pour les plastiques, de glaçures pour les céramiques et les poteries, etc. Les additifs à base de plomb [18].



Fig. I.6. Le plomb.

I.7. Impact des métaux lourds sur l'environnement

Les métaux lourds sont présents naturellement dans l'environnement à l'état de trace (très faible quantité). Ils peuvent devenir toxiques lorsque leurs concentrations deviennent trop élevées. La catastrophe environnementale et sanitaire de Minamata en est une bonne illustration. Au Japon, entre 1930 et 1960, une usine de plastique a rejeté d'importantes quantités de produits contenant du mercure dans la baie de Minamata. Les poissons et les mollusques ont accumulé cette substance (mercure organique lipophile), par conséquent, les familles de pêcheurs (ainsi que les chats) se sont intoxiqués en se nourrissant de ces poissons.

Les personnes contaminées présentaient des symptômes neurologiques, sensoriels et moteurs tels qu'une réduction du champ visuel, une altération de l'audition, des troubles de la sensibilité, une altération de la parole, une perte de coordination des membres, des convulsions et tremblements, Plus d'un millier de personnes en sont mortes et aujourd'hui encore, plus de 3000 personnes en souffrent encore.[17].Cet exemple prouve que la pollution de l'environnement a un impact direct ou indirect sur la santé humaine. D'autre part, la contamination de l'environnement aquatique par des métaux de provenance localisée, peut avoir des effets délétères (effets toxiques aigus ou chroniques) sur la vie.

Les métaux peuvent être absorbés sous la forme inorganique ou sous la forme organique. Pour certains éléments, comme l'arsenic et le cuivre, la forme inorganique est la plus toxique. Pour d'autres, comme Hg, Sn et Pb, les formes organiques sont les plus toxiques. A de faibles concentrations, beaucoup de métaux lourds, dont Hg, Cd, Pb, As et Cu inhibent la photosynthèse et la croissance du phytoplancton. Les effets observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés. Il a été démontré que les végétaux aquatiques accumulent des métaux lourds dans leurs tissus et c'est pourquoi ils ont été utilisés comme indicateurs biologiques pour le suivi de la pollution par les métaux dans l'écosystème aquatique. Par ailleurs, selon certaines études, les métaux lourds auraient aussi un impact négatif sur les communautés bactériennes telluriques. En effet, les métaux lourds sont réputés toxiques pour la plupart des microorganismes du sol car ils affectent leurs croissances, leurs morphologies, et leurs métabolismes. Ces altérations conduisent à des réductions de la biomasse bactérienne. Les métaux lourds peuvent aussi entraîner des modifications des communautés bactériennes (disparition des espèces les plus sensibles et sélection des espèces les plus résistantes aux métaux lourds) et également cela peut affecter leur activité enzymatique. Ainsi les microorganismes sont susceptibles d'être affectés au niveau de leurs activités, leur physiologie et de leur diversité, par conséquent, ces perturbations peuvent avoir des conséquences sévères sur l'ensemble de l'écosystème.

I.8. Impact sur l'homme

I.8.1. Exposition de l'homme aux métaux lourds

Les pages précédentes nous ont révélé le caractère omniprésent des métaux lourds dans notre environnement habituel. Toutefois, les conséquences de cette omniprésence seraient moindres si elle n'était pas associée à un risque direct de contamination pour l'homme. De manière très intuitive, on comprend qu'à terme, l'homme qui peut se trouver à tous les échelons du cycle de

répartition des métaux lourds dans l'environnement, va en absorber par différentes voies et devenir lui-même réservoir de métaux lourds avec des conséquences probables sur sa santé. C'est ce passage des métaux lourds de l'état de polluants du sol, de l'air et des eaux à celui d'éléments toxiques absorbé en quantité suffisante pour nuire que nous allons étudier plus précisément dans ce paragraphe. Les polluants peuvent atteindre l'homme par passage à travers la peau, ingestion (diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine; le plomb et le cadmium peuvent prendre la place du calcium et de la vitamine D en cas de carence) ou par inhalation (les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires - le mercure et le plomb tétraéthyle peuvent être à l'état vapeur à température ambiante - ; quant aux particules, celles de diamètre supérieur à 20 μm sédimentent mais celle de diamètre compris entre 10 et 20 μm ont un impact sur le naso-pharynx, celle de diamètre compris entre 1 et 5 μm sédimentent dans la trachée, celles de diamètre inférieur à 1 μm atteignent les bronchioles et la circulation sanguine.

I.8.2. Absorption par voie respiratoire

Beaucoup de métaux lourds se trouvent dans l'air sous une forme inhalable par l'homme et peuvent être à l'origine d'une contamination par la voie respiratoire. Plus encore que dans les sols, l'eau ou les aliments, cette présence des métaux lourds dans l'air est difficile à mettre en évidence et à éviter. En l'état actuel de la contamination de l'air, on peut dire que les phénomènes toxiques aigus ne s'observent pratiquement que dans des situations locales très particulières (concentration forte dans une pièce mal aérée...) mais on ne sait presque rien de la contribution de ces métaux lourds sous forme volatile dans les phénomènes de toxicité chronique. Les métaux lourds dans l'air peuvent se trouver principalement sous deux formes : soit sous forme gazeuse pour certains composés métalliques volatiles ou dont la pression de vapeur saturante est élevée (c'est le cas du mercure même à température ambiante); soit sous forme de composés métalliques solides, déposés sur les très fines particules ou poussières formées lors des phénomènes de combustion (c'est le cas du plomb sur les particules formées dans les moteurs à explosion et le cas de tous les métaux sur les particules formées dans les incinérateurs d'ordures ménagères). Pour des raisons de thermodynamique et de cinétique, les métaux lourds présents ont en effet tendance à s'accumuler sur les particules solides formées lors des réactions de combustion. Dans les deux cas (gaz ou fines particules), les métaux peuvent pénétrer dans les voies aériennes supérieures lors d'une inhalation normale et, si la taille des particules le permet, atteindre les alvéoles pulmonaires, véritables échangeurs air/sang d'où ils diffusent (gradient de concentration) dans le torrent circulatoire et sont

solubilisés dans le sang de la personne exposée. Présents dans la circulation sanguine, les métaux peuvent alors atteindre tous les organes, ce qui fait de la voie respiratoire une voie de contamination très efficace. [19]

I.9.Toxicité des métaux lourds

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à :

- Leur non-dérivabilité.
- Leur toxicité à faible concentration.
- Leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques.

La toxicité d'un élément métallique dans l'environnement dépend de la forme chimique sous laquelle il existe. On peut citer comme exemple, le cas du Mn^{2+} et de l'As qui sont plus toxiques que le Mn^{II} et l' As^2 . L'une des caractéristiques de la toxicité des métaux est leur pouvoir de former des ligands.

La disponibilité et la toxicité dépendent de la concentration des ions libres de l'élément, ainsi que de la concentration totale du métal ou de celle du complexe du métal.

Tout d'abord, il est important de préciser que la forme chimique des métaux lourds influence fortement leur toxicité (ions, molécules plus complexes,...). La dose est également un paramètre essentiel dans la caractérisation de la toxicité aiguë.

I.9.1.Toxicité aiguë

I.9.1.1.Arsenic(As)

Les principaux effets aigus, observés suite à l'ingestion d'arsenic inorganique, sont typiquement gastro-intestinaux associant nausées, vomissements, hémorragies gastro-intestinales, douleurs abdominales et diarrhées. Des effets sur le système nerveux et la peau peuvent aussi apparaître dans les jours ou les semaines suivant l'exposition. [20]

I.9.1.2.Cadmium(Cd)

Chez l'homme, le système digestif est le premier touché suite à une intoxication au cadmium. Les symptômes observés sont une gastroentérite, des vomissements, des diarrhées et des myalgies (douleurs des muscles striés squelettiques). L'effet émétique (qui provoque des vomissements) du cadmium explique la faible mortalité par cette voie. Par inhalation, l'intoxication aiguë sévère conduit à une pneumonie chimique, laquelle entraîne un décès dans 15-20% des cas. Les effets observés pendant cette période sont une irritation pulmonaire sévère, accompagnée de dyspnée (difficulté à respirer), cyanose (coloration bleuâtre ou mauve de la peau et des muqueuses) et toux. [21]

I.9.1.3.Chrome(Cr)

L'ingestion de sels de Chrome entraîne une inflammation massive du tube digestif suivie d'une nécrose s'étendant de la bouche au jéjunum (douleurs abdominales, vomissements, diarrhées, hématoméses). L'ingestion de fortes doses de Chrome (VI) induit des vertiges, une sensation de soif, des douleurs abdominales, des diarrhées hémorragiques, et dans les cas les plus sévères un coma et la mort. [22]

I.9.1.4.Nickel(Ni)

Le composé du nickel ayant la plus forte toxicité est le tétra carbonyle nickel. La toxicité aiguë de ce composé se déroule en deux phases : immédiate et retardée. La symptomatologie immédiate se manifeste par des maux de têtes, des vertiges, des nausées, des vomissements, des insomnies et de l'irritabilité. Elle est suivie d'une phase asymptomatique avant le début de la phase retardée. Celle-ci est essentiellement pulmonaire avec des douleurs constrictives dans la poitrine, une toux sèche, une dyspnée, une cyanose, une tachycardie, des symptômes gastro intestinaux occasionnels, une sudation, des perturbations visuelles et une débilité. La dermatite de contact, qui résulte d'une exposition cutanée au nickel, est l'effet le plus fréquent du nickel dans la population générale. D'autres symptômes sont également possibles.[23]

I.9.1.5.Plomb(Pb)

L'essentiel des données rapportées dans la littérature fait état d'absorption de plomb ou ses dérivés par voie orale. Les troubles digestifs sont les symptômes les plus précoces : fortes coliques associées à des douleurs, crampes abdominales et des vomissements. Il peut également y avoir des atteintes rénales (lésions tubulaires), des atteintes au niveau du système nerveux central (encéphalopathie convulsive, coma) ainsi que des atteintes hépatiques (réduction de la métabolisation de certains médicaments). Ces différentes atteintes peuvent dans certains cas se révéler mortelles selon la sévérité des lésions. [24]

I.9.1.6.Zinc(Zn)

Des cas de mortalités ont été rapportés chez l'homme après inhalation de vapeurs de composés de zinc (chlorure de zinc). Une partie d'entre eux sont décédés par détresse respiratoire, ils présentaient à l'autopsie une fibrose pulmonaire interstitielle et intra alvéolaire, ainsi qu'une occlusion des artères pulmonaires. En milieu professionnel, certaines opérations très spécifiques (découpage, soudure d'acier galvanisé par exemple) peuvent conduire à la formation de fumées contenant des particules ultrafines d'oxyde de zinc. L'exposition à ces fumées peut entraîner « la fièvre du fondeur » caractérisée par les symptômes suivants : gorge sèche et douloureuse, toux, dyspnée, fièvre, douleurs

musculaires, céphalées et goût métallique dans la bouche. Des effets cardiaques et gastro-intestinaux peuvent aussi être associés à une exposition à ces fumées. [25]

I.9.2.Toxicité chronique

Pour chaque composé, nous verrons 3 types d'effets potentiels suite à une exposition chronique : effets systémiques, effets cancérigènes et effets sur la reproduction et le développement.

I.9.2.1.Arsenic(As)

En ce qui concerne les effets systémiques (voie orale et inhalation confondus), l'arsenic peut entraîner des effets sur la peau (hyperkératose, hyperpigmentation, maladie de Bowen), sur le système respiratoire (toux, rhinorrhées, laryngites, emphysème, pneumoconiose), sur le système cardiovasculaire (arythmies, péricardites, maladie de Raynaud), neurologique (neuropathies périphériques, diminution de la conduction nerveuse), gastro-intestinale, sanguin (anémie, leucopénie). Par ailleurs, l'arsenic est reconnu comme cancérigène par le CIRC (groupe 1), l'US EPA (Classe A) et l'Union européenne (4 substances en catégorie 1). Les principaux cancers reliés à une exposition à l'arsenic sont les cancers de la peau, de la vessie, des poumons, du rein, et du foie. L'arsenic est également clastogène (capable de rompre les chromosomes) in vitro et in vivo. Enfin concernant les effets sur la reproduction et le développement, ces effets ont peu été étudiés, cependant, des avortements spontanés, des mortalités fœtales et infantiles tardives et faibles poids de naissance ont été mis en évidence ces dernières années. De même des effets sur le développement intellectuel ont été observés.

I.9.2.2.Cadmium(Cd)

En effets systémiques, le rein est la cible principale du cadmium, il peut en résulter une néphropathie irréversible, pouvant conduire à une insuffisance rénale (avec atteinte fonctionnelle tubulaire rénale à partir de certaines concentrations dans le cortex rénal). Des troubles respiratoires peuvent aussi se manifester suite à une exposition par inhalation : rhinites, bronchites, emphysèmes. L'altération pulmonaire peut apparaître jusqu'à 2 ans après l'exposition. Des atteintes du squelette liées à une interférence avec le métabolisme du calcium sont observées lors des expositions aux doses les plus élevées (maladie de «itaïitaï»). A propos des cancers, une exposition au cadmium peut entraîner des cancers pulmonaires et de la prostate. Il classé par l'UE dans la catégorie 2, l'IARC le classe dans le groupe 1 et l'US EPA en catégorie B1. (Voir le classement cancérogénicité) Enfin, s'agissant des effets sur la reproduction et sur le développement, le conseil supérieur d'hygiène publique de France conclut à un retentissement faible du cadmium sur la fertilité masculin.

I.9.2.3.Chrome (Cr)

Dans un premier temps, nous allons voir quels sont les effets systémiques d'une exposition chronique au chrome. Les manifestations toxiques du chrome sont généralement attribuées aux dérivés hexa valent. Le chrome III est un composé naturel de l'organisme mais il possède également une action toxique. Le tractus respiratoire est l'organe cible des effets lors d'une exposition par inhalation aux dérivés du chrome III et du chrome VI. Lors d'une exposition au chrome VI, les principaux effets observés sont l'épistaxis, une rhinorrhée chronique, une irritation et des démangeaisons nasales, une atrophie de la muqueuse nasale, des ulcérations et des perforations du septum nasal, des bronchites, des pneumoconioses, une diminution des fonctions pulmonaires et des pneumonies. Après solubilisation, le chrome et ses dérivés peuvent avoir un effet sensibilisant qui se manifeste par de l'asthme ou des dermatites. Des symptômes cutanés sont observés lors d'expositions par voie dermique, ils correspondent à des dermatites eczématiformes ou des ulcérations. D'autres atteintes peuvent également se manifester comme des atteintes gastro-intestinales. La classification relative à la cancérogénicité diffère en fonction des institutions (CIRC, US EPA), elle diffère aussi selon qu'il s'agit de composés du chrome VI ou de composés du chrome III et enfin selon la voie d'exposition (inhalation, cutanée, orale). Parmi tous les dérivés du chrome, certains sont considérés comme cancérigène pour l'homme et d'autres dans des catégories inférieures (potentiellement cancérigène ou non cancérigène pour l'homme). De nombreuses études épidémiologiques réalisées sur des salariés de la production de chromates (surtout chromates de calcium et de zinc) ont largement mis en évidence un excès de risque pour le cancer du poumon. L'exposition aux chromates et aux dérivés du chrome hexa valent peut également favoriser des cancers localisés (larynx, estomac) ou autres (os, prostate, organes génitaux, reins, vessie, sang,...). De plus certains composés du chrome VI (dichromate de sodium, dichromate d'ammonium) sont classés en catégorie 2 concernant la génotoxicité substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme). Enfin, peu d'effets significatifs ont été observés concernant les effets du chrome sur la reproduction ou sur le développement.

I.9.2.4.Nickel(Ni)

Une incidence des décès par pathologies respiratoires est suspectée suite à une inhalation chronique de nickel sous forme de monoxyde ou de métal (les effets se manifestant sous forme de bronchite chronique, d'emphysème, de diminution de la capacité vitale) mais ces données doivent être relativisées car ces symptômes peuvent être dus à des expositions à d'autres composés. Des cas d'asthmes ont également été décrits. Des dysfonctionnements

tubulaires ont aussi été observés chez des travailleurs exposés à des composés solubles du nickel. La dermatite de contact issue d'une exposition cutanée au nickel est l'effet le plus fréquent dans la population générale. Parmi les dérivés du nickel, certains sont classés par les différentes institutions dans la première catégorie comme le dioxyde de nickel, le monoxyde de nickel, le sulfure de nickel et le sous sulfure de nickel. D'autres sont classés dans des catégories inférieures (catégorie 3, groupe 2B, classe B2, (Voir le classement cancérogénicité). Les différentes études épidémiologiques mettent en évidence une augmentation du risque de cancer du poumon et du nez. Enfin, pour ce qui est des effets sur la reproduction et sur le développement, le tétra carbonyle nickel est classé repro-toxique (toxique pour la reproduction) de catégorie 2 par l'Union Européenne. Une exposition par inhalation est suspectée d'augmenter légèrement le taux d'avortement spontané et le taux de malformation des fœtus.

I.9.2.5.Plomb(Pb)

Les intoxications chroniques sévères se traduisent par une encéphalopathie saturnique grave (aujourd'hui très rare en milieu professionnel). Des intoxications moins importantes peuvent conduire à des troubles neurologiques tels que de l'irritabilité, des troubles du sommeil, de l'anxiété, des pertes de mémoire, de la confusion, une sensation de fatigue, des perturbations de la mémoire et du temps de réaction ainsi que de l'habileté manuelle. Le plomb entraîne aussi classiquement une anémie (liée d'une part à l'inhibition de la synthèse de l'hème et d'autre part à la réduction de vie des érythrocytes). D'autre part, certaines études suggèrent que le plomb, même à des faibles niveaux de plombémie, pouvait exercer un effet négatif sur la fonction rénale (par altération de la fonction glomérulaire et/ou tubulaire du rein). D'autres études suggèrent des effets potentiels sur la croissance des os (ralentissement) chez les enfants et sur le système immunitaire. Enfin, il est démontré qu'une exposition chronique au plomb chez des femmes enceintes a des conséquences sur le développement neurocomportemental des enfants durant leur petite enfance. La classification relative à la cancérogénicité décrit l'arséniate de plomb comme cancérogène pour l'homme (UE). D'autre part, le plomb et ses dérivés inorganiques pourraient être potentiellement cancérigènes pour l'homme (CIRC et US EPA). Certaines données indiquent qu'une exposition professionnelle pourrait être associée à un risque accru de cancers bronchique ou du rein (pour une exposition longue durée). (Voir le classement cancérogénicité) Chez l'homme, une exposition longue durée (6 à 10 ans) peut entraîner une hypofertilité (par diminution de la production de spermatozoïdes). Par ailleurs le plomb perturbe la sécrétion d'hormones sexuelles, ainsi la concentration de testostérone est

diminuée chez l'homme pour un certain seuil de plombémie (>600 µg/L). Une baisse de la fécondité a aussi pu être observée chez des femmes présentant un certain taux de plombémie.

I.9.2.6.Zinc(Zn)

Les inhalations de zinc sont suspectées d'induire une augmentation de la fréquence des problèmes gastro-intestinaux (bien que l'étude ayant mis en avant cette donnée doit être relativisée car d'autres composés chimiques ont aussi pu causer cette augmentation). Par voie orale, des crampes d'estomac, des nausées et des vomissements ont été relevés chez des volontaires ayant ingéré du sulfate de zinc. Par ailleurs, de nombreux cas d'anémie ont été décrits chez des personnes implémentées en zinc durant de longues périodes. Enfin, des doses trop élevées peuvent altérer les réponses immunes et inflammatoires (altérations fonctionnelles des lymphocytes et des polynucléaires sanguins). Seul le chromate de zinc (dérivés du chrome VI) est classé par l'UE dans la catégorie 1. La plupart des autres dérivés du zinc ne sont pas cancérogènes. (Voir le classement cancérogénicité) Aucune étude complète n'a pu mettre en évidence d'effets significatifs du zinc sur la reproduction ou sur le développement.

Aquatique à l'intérieur de la zone concernée. La plupart des données publiées jusqu'ici concernant les effets des métaux sur les organismes aquatiques indiquent cependant que ces effets nocifs se produisent à des concentrations supérieures à celles que l'on trouve généralement dans l'environnement.

I.9.3. Classement cancérogénicité. [20]

Classement CIRC :

Groupe 1 : l'agent est cancérigène pour l'homme,

Groupe 1A : l'agent est probablement cancérigène pour l'homme

Groupe 2B : l'agent pourrait être cancérigène pour l'homme,

Groupe 3 : substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme,

Groupe 4 : l'agent n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

Classement US-EPA :

Classe A : substance cancérigène pour l'homme,

Classe B1 : substance probablement cancérigène pour l'homme,

Classe B2 : substance probablement cancérigène pour l'homme,

Classe C : cancérigène possible pour l'homme,

Classe D : substance non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme.

Classement Union Européenne :

Catégorie 1 : substance que l'on sait être mutagène pour l'homme.

Catégorie 2 : substance devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme.

Catégorie 3 : Substance préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagène possible.

I.10. Réglementation

En Europe, la première réglementation date de 1982, avec la Directive 82/884/CEE du 3 décembre 1982, visant à protéger la santé humaine en fixant les limites de concentration de métaux et autres polluants dans l'air ambiant.

Le texte fixe une valeur limite à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air en moyenne pour le plomb. L'objectif de qualité a été fixé dans la réglementation française à $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Directive 96/62/CE du 27 septembre 1996 concerne l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant et prévoit l'élaboration de « directives filles » pour treize polluants ou familles de polluants, dont certains métaux lourds.

La Directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 relative à la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe regroupe la directive cadre 96/62/CE et les directives filles 2002/3/CE, 2000/69/CE, 1999/30/CE et 2004/107/CE. Cette dernière, datant du 15 décembre 2004, concerne l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. En métropole, c'est la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) n°96-1236 du 30 décembre 1996 qui est le principal texte réglementaire encadrant la surveillance de la qualité de l'air. En ce qui concerne les métaux lourds, les critères nationaux de qualité de l'air sont définis principalement par :

- Le décret, n°2002-213, du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites, fixant notamment les valeurs réglementaires pour le plomb.
- Le décret, n°2007-1479, du 12 octobre 2007 relatif à la qualité de l'air et modifiant le code de l'environnement (partie réglementaire). Ce décret porte transposition partielle des directives "ozone" (2002/3/CE) et "métaux lourds/HAP" (2004/107/CE).
- Le décret, n°2008-1152, du 7 novembre 2008 relatif à la qualité de l'air. Ce décret mentionne les valeurs cibles relatives à l'ozone, aux métaux (As, Cd, Ni), et au benzo(a)pyrène.

Les réglementations citées ci-dessus ne sont pas directement applicables en Nouvelle-Calédonie. A ce jour, il n'existe pas de réglementation locale sur la qualité de l'air ambiant. Seules les réglementations provinciales des Installations Classées pour la Protection de

l'Environnement (ICPE), qui concernent les industries, fixent des préconisations applicables à la surveillance de la qualité de l'air autour de certains sites industriels.

Pour les particules PM10, selon l'arrêté 11387-2009/ARR/DIMENC du 12/11/2009 qui concerne particulièrement le site industriel de Doniambo, les valeurs d'émission doivent être telles que les niveaux de concentration dans l'atmosphère ne dépassent pas, dans chacune des stations concernées (Montravel et Logicoop), les valeurs limites suivantes :

- Objectif de qualité : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle,

Valeurs limites pour la protection de la santé humaine :

- centile 90,4 (soit 35 jours de dépassement autorisés par année civile de 365 jours) des concentrations moyennes journalières sur l'année civile : $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Pour les métaux contenus dans les particules PM10, polluants faisant l'objet du présent rapport, l'arrêté précise que l'analyse doit être « réalisée annuellement selon des méthodes reconnues dans les particules en suspension afin de définir une corrélation entre teneur dans les matières particulaires et teneur dans l'air ».

Cette analyse concerne les métaux : antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, nickel, plomb, manganèse, vanadium, zinc (Sb+Cr+Co+Cu+Sn+Mn+Ni+Pb+V+Zn).

Ce rapport traite des métaux réglementés au niveau européen : arsenic, cadmium, plomb et nickel.

Pour répondre aux obligations réglementaires, une analyse des métaux Sb+Cr+Co+Cu+Sn+Mn+V+Zn a également été réalisée sur une série hebdomadaire de mesure concernant les sites de typologie industrielle2.

Aucune norme ou valeur de référence n'existe cependant pour ces polluants.

I.11. Valeurs de référence

Dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé et/ou l'environnement, les directives relatives à la réglementation des métaux lourds fixent pour chacun d'eux une valeur cible en moyenne annuelle et deux valeurs de seuils d'évaluation.

En principe, si les niveaux de polluants mesurés en moyenne annuelle sont supérieurs au Seuil d'Evaluation Supérieur (SES), les mesures de référence permanentes sont obligatoires ; s'ils sont inférieurs au Seuil d'Evaluation Inférieur (SEI) la modélisation suffit et entre les deux, une combinaison mesure/modélisation est nécessaire.

A ce jour, aucun programme de modélisation n'a été mené sur ce sujet.

Références.

- [1] Adriana Coman. Thèse Modélisation spatio-temporelle de la pollution atmosphérique urbaine à partir des mesures d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air. Le 24 septembre (2008).
- [2] Eatough D.J. Determination of particulate carbonaceous material using diffusion denuder sampling. In Gas and Particle Phase Measurements of Atmospheric Organic Compounds. 2, Lane D.A. Ed. Gordon and Breach Science, Amsterdam, (1999).
- [3] Villeneuve C. et F. Richard. Vivre les changements climatiques : L'effet de serre expliqué. Ste Foy (Québec) : Éditions Multi Mondes, (2001).
- [4] Brasseur G. P., Orlando J. J., Tyndall G. S. Atmos. Chem. Global Change. Oxford University Press ed, (1999).
- [5] Bouhafs Nezha, SEDDIKI Adel. Caractérisation chimique de la pollution atmosphérique urbaine y compris celle par le tabagisme. (2004).
- [6] Karima Boussouara étude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs a combustion interne n° d'ordre : 68/ts/2010 N° de Série : 10/GM/2010.
- [7] A Lonescu , Y canadu : air pollutant emissions prediction by process modelling application in the iron and steel industry in the case of a re-heating furnace environmental modelling and software 22 1362-1371. (2007)
- [8]P. Le Cloirec, ed. Lavoisier Les composés organiques volatils (COV) dans l'environnement, (1998).
- [9] Karim Mouaci Thèse : Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia. Université de Bejaia - ingénieur (2002).
- [10] J. D. Fuentes, M. Lerda, R. Atkinson, D. Baldocchi, J.W. Bottenheim, P. Ciccioli, B. Lamb, C. Geron, L. Gu, A. Guenther, T.D. Sharkey et W. Stockwell, Biogenic hydrocarbons in the atmospheric boundary layer, Bulletin of the American Meteorological Society, 81(7):1537-1575. (2000).
- [11] D. Helmig, L. F. Klinger, A. Guenther, L. Vierling, C. Geron et P. Zimmerman. Biogenic volatile organic compound emissions (BVOCs): Identifications from three continental sites in the U.S. Chemosphere, 38: 2163-2187, (1999).
- [12] C. Gonçalves, M.F Alpendurada, Comparison of three different poly dimethylsiloxane – divinylbenzene fibres for the analysis of pesticide multiresidues in water samples: structure and efficiency. Journal of chromatography A, 963 (1&2): 19-26, (2002).

- [13] Fergusson, J.E.. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental impact and Health Effects. Pergamon press, Oxford, 614. (1990)
- [14] Laatra Mohamed, Chenini Hamza Etude comparative entre deux plantes (Typha latifolia et Phragmites Australis) à accumuler le zinc (Zn). (1992)
- [15] Diard P, Etude de la biosorption du plomb et du cuivre par des boues de stations d'épuration. Mise en œuvre d'un procédé de biosorption à contrecourant, Thèse de doctorat de l'INSA Lyon, France, (1996).
- [16] Mirghffari N., Décontamination des solutions contenant des métaux lourds par des déchets forestiers ou agricoles, Thèse de doctorat de l'INP. Lorraine, France (1998).
- [17] M. Gérard MIQUEL et plusieurs de ses collègues, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech., déposé le 5 avril 2001 Rapport d'information n° 261 (2000-2001)
- [18] L. Fishbein Sources, transports and alterations of metal compounds: an overview. I. arsenic, beryllium, cadmium, chromium and nickel. (1981).
- [19] M. Di Benedetto Méthodes Spectrométriques d'analyse et de caractérisation dossier Sam : les métaux lourds Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (1997).
- [20] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) ; Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; « Arsenic et ses dérivés inorganiques » ; dernière mise à jour 07/04/2010
- [21] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) ; Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; « Cadmium et ses dérivés » ; dernière mise à jour 29/09/2011
- [22] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) ; Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; « Chrome et ses dérivés » ; dernière mise à jour 16/02/2005
- [23] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) ; Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; « Nickel et ses dérivés » ; dernière mise à jour 27/07/2006
- [24] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) ; Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; « Plomb et ses dérivés » ; dernière mise à jour 03/02/2003

[25] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) ; Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; « Zinc et ses dérivés » ; dernière mise à jour 14/03/2005

Chapitre II : Partie Expérimentale

II.1. Echantillonnage

II.1.1. Matériels et la période d'investigation

L'échantillonnage a été réalisé durant 24h en utilisant un échantillonneur à volume moyen (29 L/min) doté d'un sélecteur de taille qui ne laisse passer que les particules ayant un diamètre inférieur à 10 μm et un compteur mesurant le volume d'air qui pénètre à travers les filtres. Les particules ont été recueillies dans des membranes inertes en quartz, de 47 mm de diamètre et dont la taille des pores est de 1 μm . Les filtres ont été recouverts de papier aluminium et stockés à -4°C jusqu'à soumission à l'analyse physico-chimique. Les PM_{10} ont été prélevées pendant le printemps et l'été 2015 à raison d'un filtre par jour dans l'objectif de disposer 15 filtres d'échantillons ce qui a permis d'étudier la variation journalière des collectes aux sites choisis. La figure II.1 montre le matériel utilisé durant notre étude.

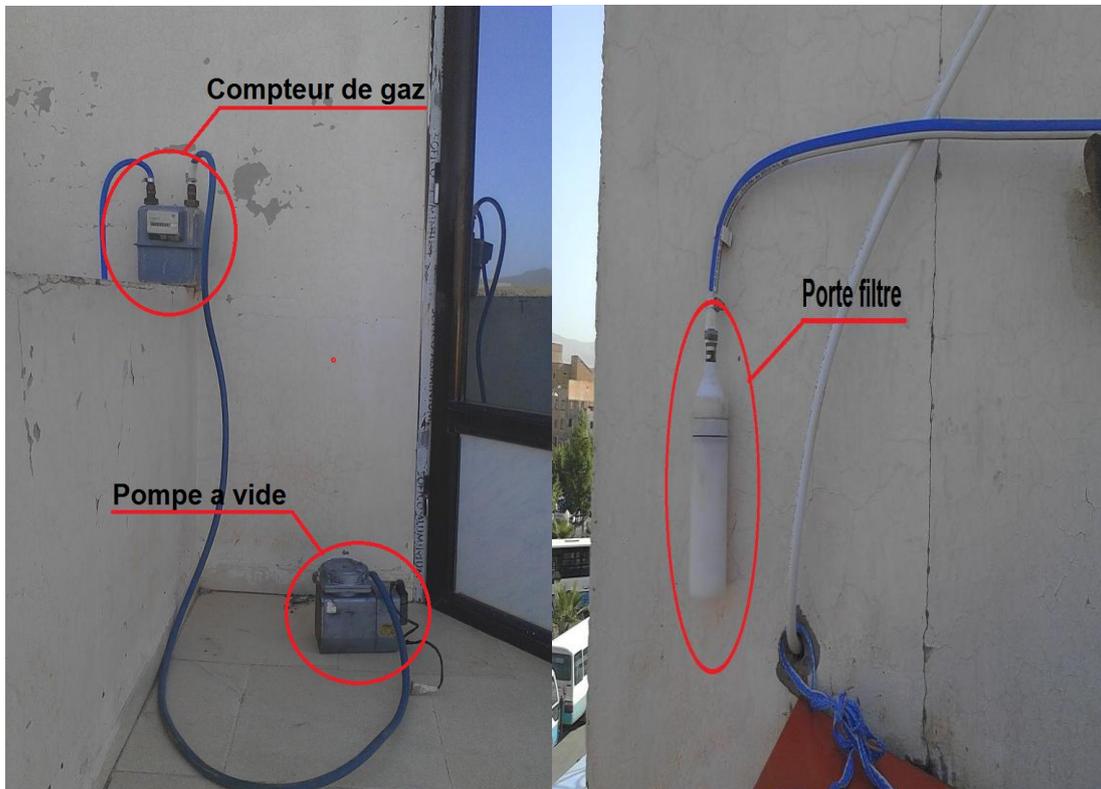


Fig. II.1. Campagne des prélèvements d'aérosol

II.1.2. Préparation des filtres

Avant utilisation des filtres, ces derniers sont passés par chauffage au four (4h) à 450°C pour éliminer toutes les substances préexistantes dans les filtres. Ces filtres sont ensuite stockés par paquets de 30 dans des flacons en verre étanches à température ambiante avant utilisation sur sites. Les filtres sont pesés avant et après le prélèvement. [1]

II.1.3. Description des sites

Afin de réaliser une bonne étude, nous avons choisis plusieurs sites pour le prélèvement. Les de prélèvement, ont été réalisée avec un échantillonneur à volume moyen(MVS), du début de printemps jusqu'à l'été, tout dépend de site.

II.1.3.1. La Société des Ciments de Sour El Ghozlane (SCSEG)

La cimenterie est implantée à 7 Km de la ville de Sour el ghozlane, et à 25 Km de Bouira, chef-lieu de wilaya et de 120 Km au sud de la capitale Alger. La société occupe une position géographique stratégique, située à une altitude de 900 m au-dessus du niveau de la mer. Les prélèvements sont effectués à 5 m de hauteur et environ 100 m de la route nationale N°5. Figure II.2



Fig. II.2. Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage Cimenterie SEG.



Fig. II.3. Image satellitaire présentant l'endroit de Cimenterie SEG.

II.1.3.2. Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira (UAMOB)

L'université Akli Mohand Oulhadj, a été choisie comme site d'échantillonnage au cours de cette étude. Les échantillons d'aérosols ont été collectés à 2,5m au-dessus du sol en utilisant le même dispositif de prélèvement que celui déjà décrit précédemment. L'université est située au centre de ville de Bouira. Figure II.4.

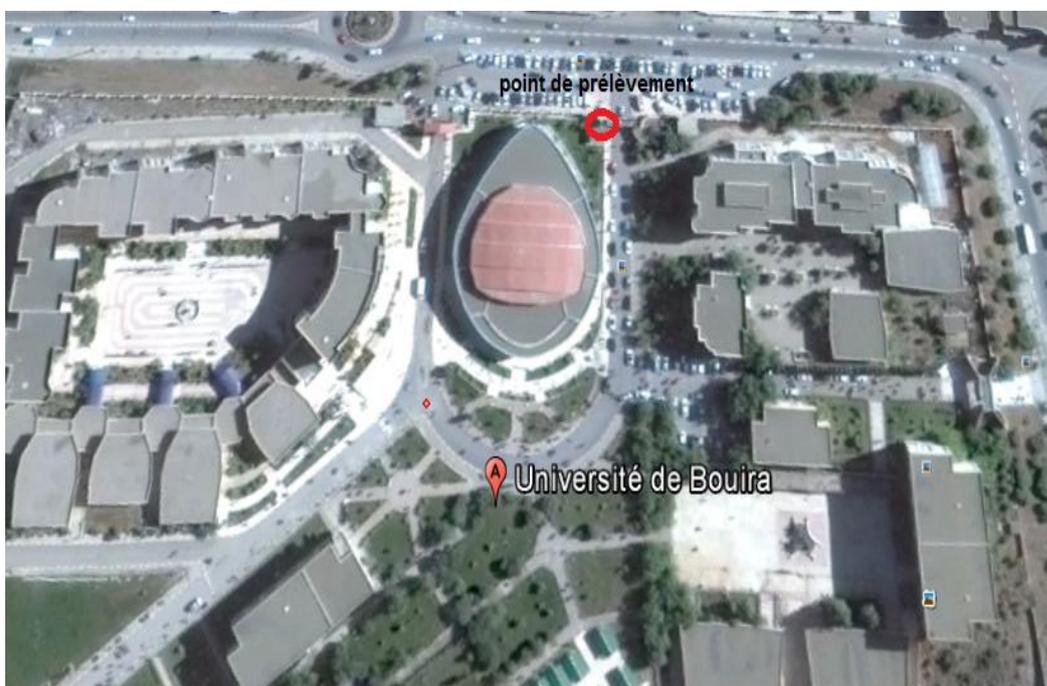


Fig. II.4. Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage (UAMOB).

II.1.3.3. L'Entreprise Nationale des Peintures (ENAP)

Est située à 70 Km à l'Est d'Alger, sur la route nationale N°5, et environ 45 Km à l'ouest de chef-lieu de la wilaya de Bouira, l'altitude par rapport au niveau de la mer est 203 mètres. Elle s'étale sur une superficie de 8 hectares et emploie environ 340 travailleurs, répartis entre cadres, agents de maîtrise et agents d'exécution elle est partagée en deux zones (sud et nord) qui à leur tour sont divisées en plusieurs départements figure II.5.

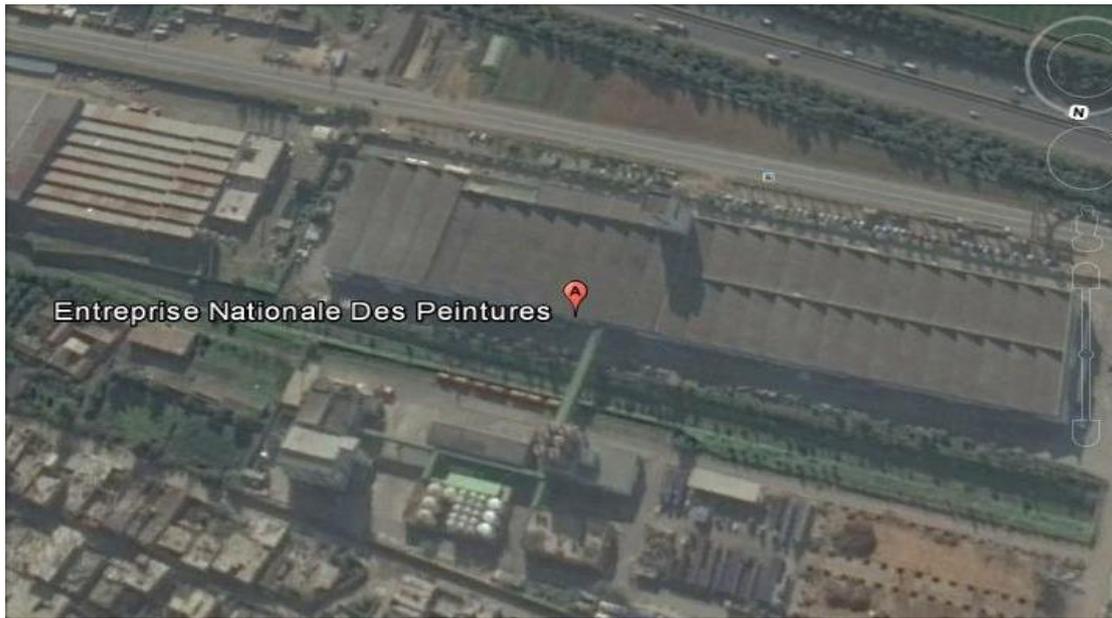


Fig. II.5. Image satellitaire présentant le site de l'échantillonnage (ENAP).

II.1.3.4. Agence de transport à Bouira (ATB)

Conçue dans un style adapté à l'environnement, elle est implantée sur une surface de 2 ha, à l'entrée ouest de la ville de Bouira, à proximité de l'autoroute Est- Ouest presque 20 m. notre dispositif a été placé à 10m d'hauteur, la figure II.6 montre l'emplacement juste de l'échantillonneur à volume moyen.



Fig. II.6. Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage Gare routière de Bouira.

II.1.3.5. Tikjda

Tikjda est un site situé à 32 km à l'est de la wilaya de Bouira, à 1 478 m d'altitude au cœur de la chaîne montagneuse du Djurdjura, Les prélèvements ont été effectués en exposant la pompe à l'air libre, à une distance à 15 m des feuilles les plus proches et à environ 6 m du sol. On a fait le prélèvement au niveau de l'unité de la protection civile de Tikjda, ainsi l'image satellitaire de ce site est montrée dans la figure. II.7



Fig. II.7. Image satellitaire présentant l'endroit exact de l'échantillonnage Tikjda (protection civile).

II.2. Mesure des particules par la gravimétrie

La gravimétrie est une méthode d'analyse quantitative a pour but d'obtenir une séparation quantitative, l'avantage de cette méthode est qu'elle est relativement très précise (incertitude sur la balance).

Les filtres sont séchés à un niveau d'humidité constant pendant 48 heures et pesés avant et après le prélèvement d'échantillons, leur masse est déterminée avec une microbalance. La différence de masse correspond à la quantité de poussière collectée.

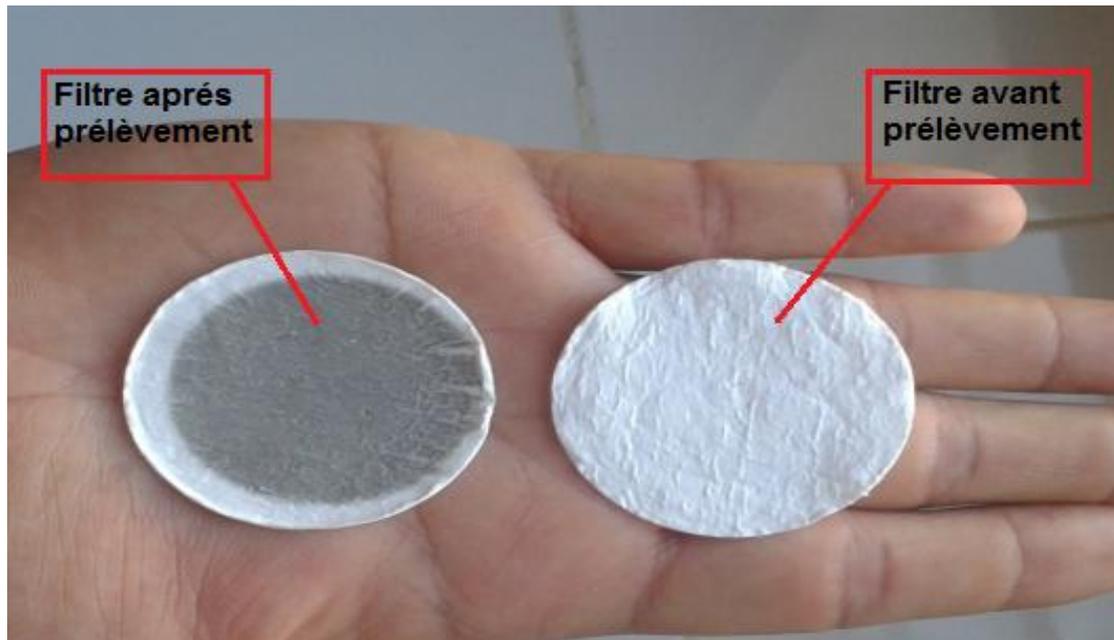


Fig. II.8. Filtre avant et après le piégeage des particules.

II.3.Extraction des Composés Organiques Volatils (COVs)

Une des méthodes d'extraction les plus utilisées est l'extraction au Soxhlet. Elle est particulièrement adaptée pour les échantillons qui présentent de faibles rendements d'extraction car elle permet d'extraire de grandes quantités d'échantillon. L'extraction au Soxhlet permet de réaliser des extractions continues solide-liquide à l'aide de cycles de vaporisation condensation du solvant (Figure. II.9). Généralement des solvants non ou faiblement polaires tels que le dichlorométhane, le cyclohexane ou un mélange de solvants de polarités différentes (hexane/acétone par exemple) sont utilisés. Cette technique est couramment pratiquée pour l'extraction des COVs particulaires piégés sur les filtres et des COVs gazeux piégés sur la cartouche de PUF [2] ou sur de la résine XAD-2. [3] Cette méthode présente l'avantage d'être simple d'utilisation et efficace. Toutefois, une extraction nécessite généralement une

grande quantité de solvant (100 à 250 ml) et l'extraction des COVs dure entre 6 et 24 heures. Notre extraction a été effectuée en continu durant 16 heures avec le mélange Dichlorométhane-Acétone (DCM-ACE, 4 :1 v/v, 125 ml) en utilisant un micro soxhlet. Avant l'extraction, 10 μ L de solution de toluène contenant des concentrations connues des étalons internes suivants: Naphtalène-d8, Acénaphène-d10, Fluorène-d10, Phénanthrène-d10, Chrysène-d12, BaP-d12, benzo(a)pyrène-d12 et Perylène-d12 est mélangé avec les aérosols contenus dans le filtre à échantillon. [4]

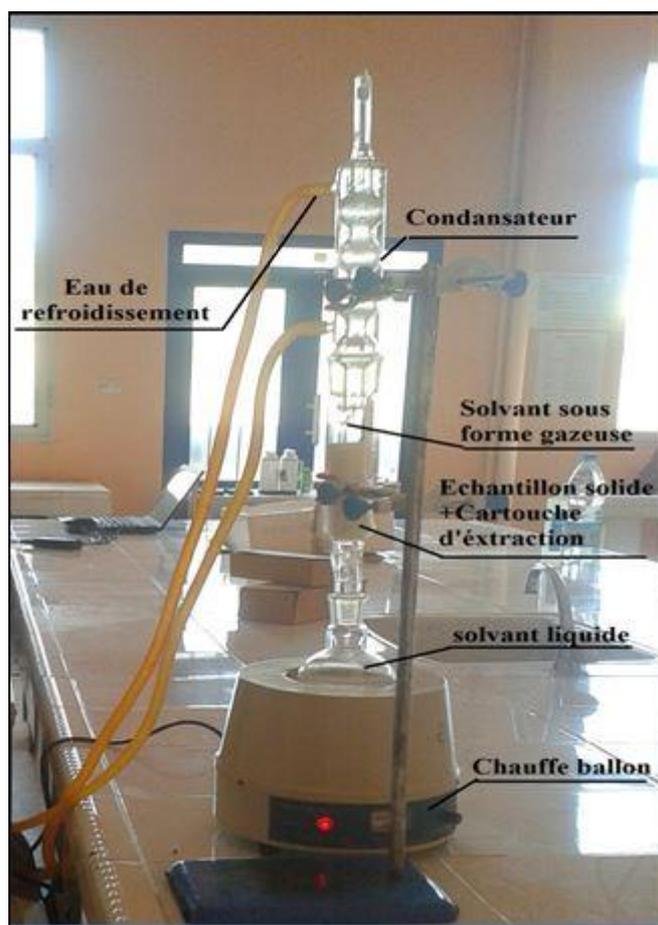


Fig. II.9. Montage de soxhlet.

II.4. Concentration des Composés Organiques Volatils (COVs)

Le produit d'extraction est concentré dans l'évaporateur rotatif jusqu'à l'obtention d'un volume moyen de 1 ml. Ce volume est ensuite concentré à température ambiante en utilisant un faible jet d'azote jusqu'à l'obtention d'un volume de 250 μl . [5]

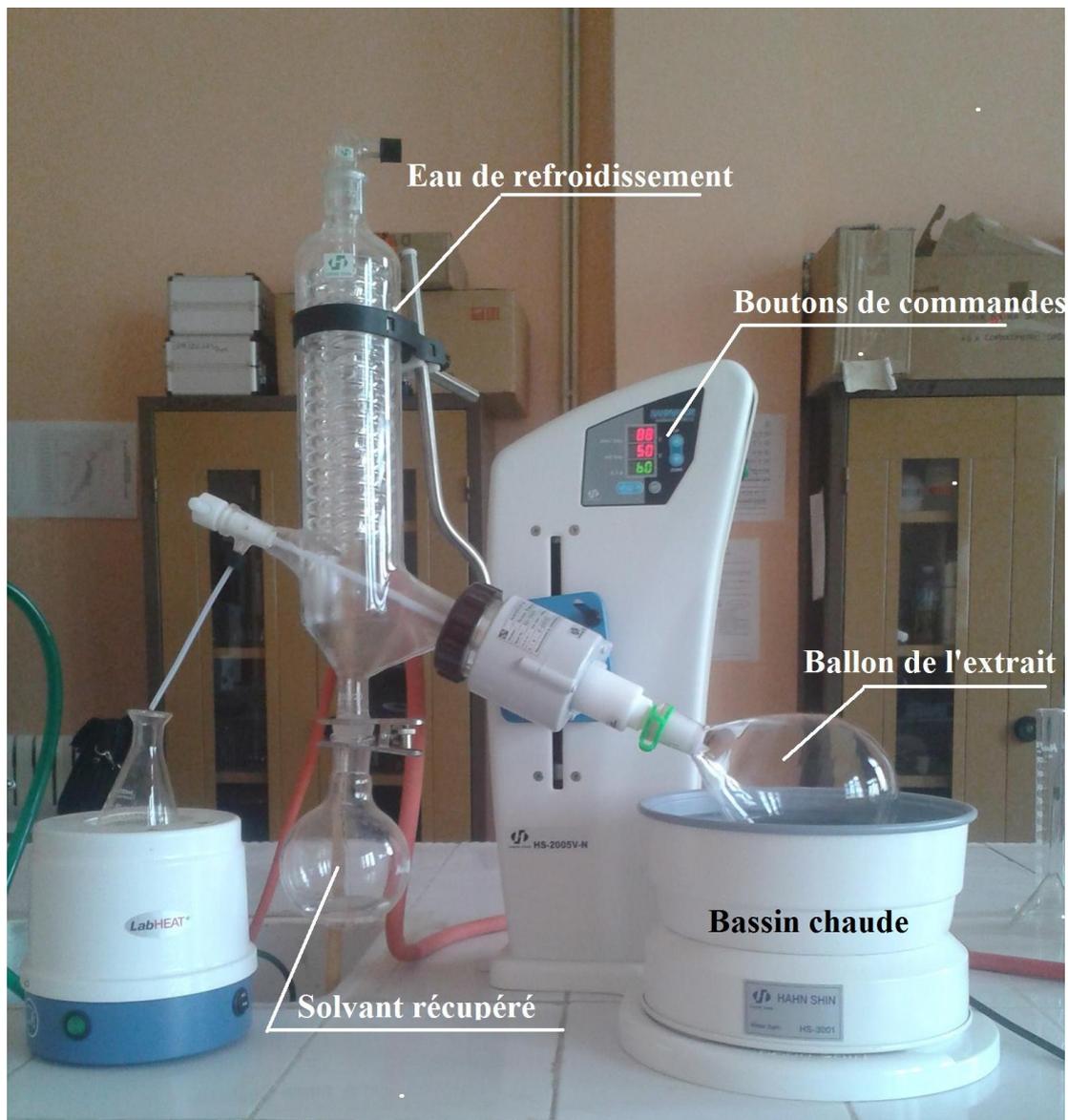


Fig. II.10. évaporateur rotatif.

II.5. Purification des Composés Organiques Volatils (COVs)

L'extrait est élué à travers une colonne du type Brockman I, (Aldrich Chimica, Milan, Italie), de diamètre interne égal à 1 cm et de 20 cm longueur. La colonne est remplie d'oxyde d'aluminium neutre (Al_2O_3), partiellement désactivé au laboratoire avec 1,5

% d'eau ultra pure pour séparer les COVs. La fraction polaire est alors collectée en éluant l'extrait avec le mélange Dichlorométhane Acétone ACE. [6]

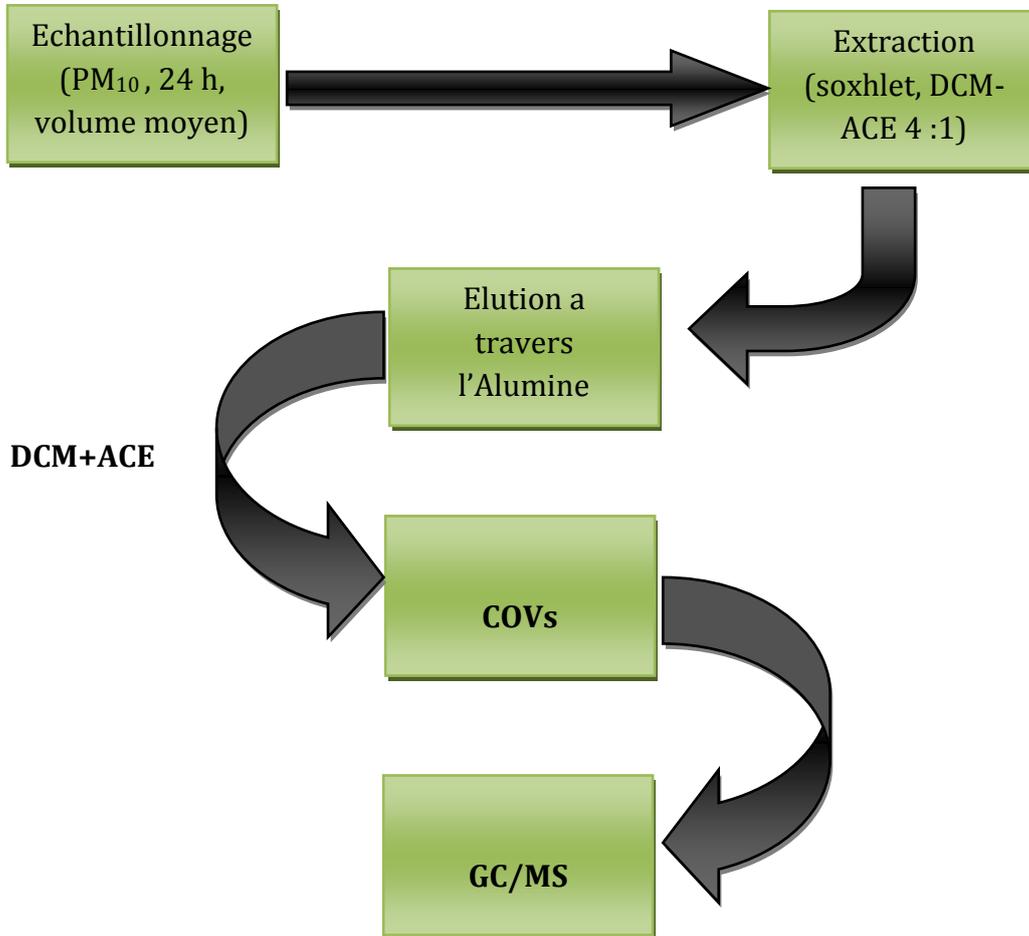


Fig. II.11. Organigramme de la procédure pré-analytique.

II.6. Analyse des (COVs) par CG/SM

Le dispositif de GC est généralement un instrument d'analyse fiable. L'instrument de GC est efficace dans la séparation des composés dans leurs différentes composantes. Cependant, l'appareil de GC ne peut pas être utilisé pour l'identification fiable des substances spécifiques. L'instrument MS fournit des résultats spécifiques, mais produit des résultats qualitatifs. Quand un analyste utilise l'instrument de GC pour séparer les composés avant l'analyse avec un instrument MS, une relation de complémentarité existe. Le technicien a accès aux deux temps de rétention et les données spectrales de masse. Beaucoup de scientifiques considèrent analyse GC / MS comme un outil de preuve concluante de l'identité.

Analyse CG / SM, où l'effluent de l'appareil de GC est l'alimentation à l'instrument MS, est largement utilisé pour les tests de confirmation de substances. Le dépistage des drogues, contrôle de la qualité de fabrication et les essais environnementaux sont quelques utilisations typiques. [7]

II.7.Extraction des métaux lourds collectée par l'échantillonnage active

II.7.1. Extraction par chauffage à reflux

Un chauffage à reflux accélère une réaction, car la température est un facteur cinétique, ce qui signifie que plus elle augmente, plus la vitesse de réaction augmente (pour la plupart des réactions).

Le reflux empêche la perte de réactif ou de produit par vaporisation. Dans le vase à réaction (souvent un ballon ou un erlenmeyer), du fait de l'augmentation de la température certaines espèces chimiques se vaporisent. Ces espèces chimiques montent alors dans le réfrigérant à boules. De l'eau froide s'écoule en permanence dans ce réfrigérant, au contact des parois les gaz refroidissent et se liquéfient sous formes de gouttelettes sur les parois du réfrigérant et finissent par retomber dans le vase à réaction. Pour éviter les pertes de matières, on pourrait tout simplement fermer le vase à réaction, mais dans ce cas on ne pourrait pas travailler à pression constante et il y aurait un risque de surpression. la figure montre le montage d'un chauffage à reflux.

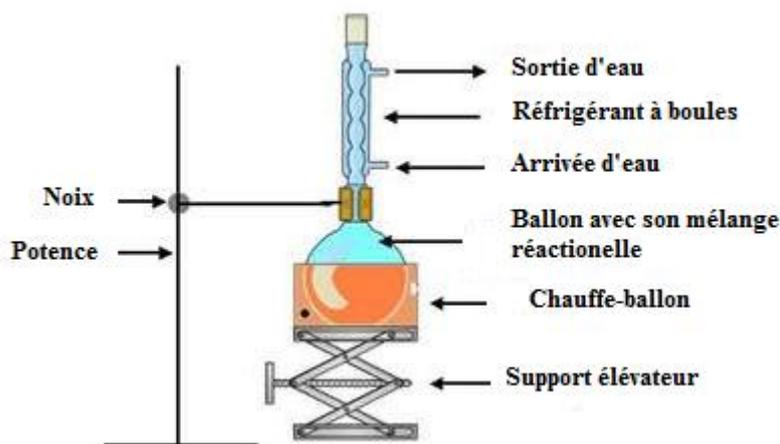


Fig. II.12. Montage d'un chauffage à reflux.

II.7.2. Préparation des solutions

Les composés inorganiques contenus dans les aérosols sont extraits par chauffage à reflux à 150 °C durant deux heures avec un mélange acide chlorhydrique-acide nitrique (HCl/HNO₃, 2:1 v/v, 21 mL. puis évaporé à sec sur la plaquette chauffante, Les extraits obtenus sont dilués avec l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un volume de 15 mL

II.8. Analyse des métaux lourds par la spectroscopie d'absorption atomique SAA

Pour déterminer l'existence des métaux lourds on utilise la spectroscopie d'absorption atomique

Principe :

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une température de l'ordre de 1700 à 2550°C, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et à l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés. Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées. Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond). En plus de la simple dilution ou de la minéralisation par voie humide souvent décrite, on préconise l'utilisation d'une solution de modificateur

de matrice qui permet de transformer l'élément à doser en ses formes les plus stable thermiquement : composés oxydes, formes réduites ou phosphates, La formation des atomes neutres est réalisée par la vaporisation et l'atomisation dans une flamme air-acétylène.

[8]

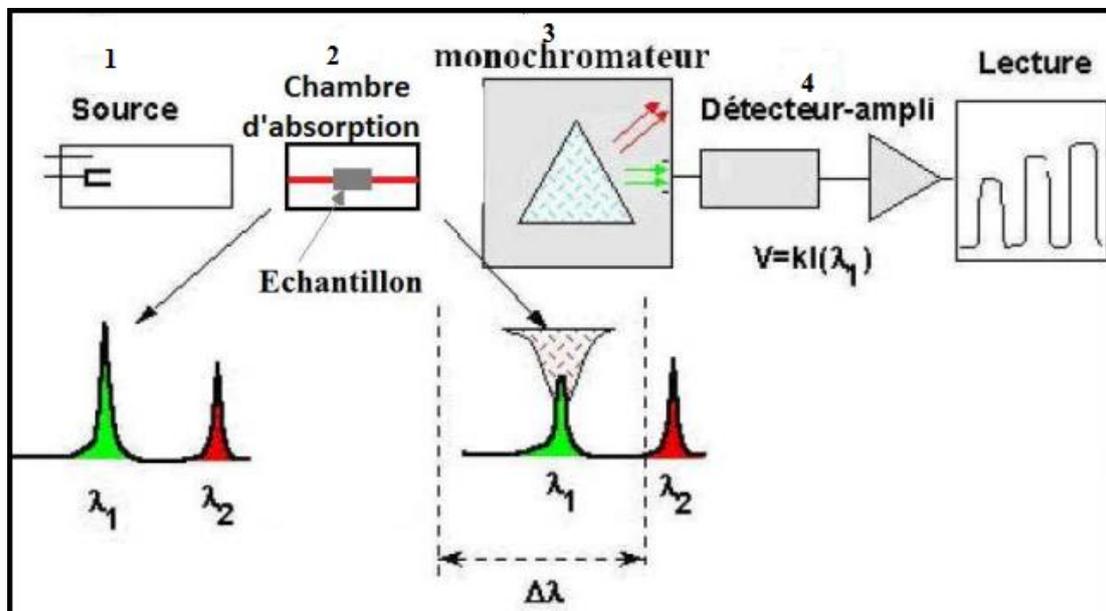


Fig. II.13. Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.

Références

- [1] KERKOUUD MOHAMED et MEKKAOUI ALI. La pollution atmosphérique par des particules en PM10 dans la wilaya de Bouira, Mémoire de Master, UAMOB-Bouira, (2013).
- [2] W.M. Coleman. Une étude sur le comportement des produits de réaction de Maillard Analysés par microextraction en phase solide-gaz Chromatographie détection sélective de masse. *Journal of Chromatographic Science*, Volume 34, (1996).
- [3] C. Gonçalves, M.F Alpendurada, Comparison of three different poly (dimethylsiloxane) – divinylbenzenefibres for the analysis of pesticide multiresidues in water samples: structure and efficiency. *Journal of chromatography A*, 963 (1&2): 19-26, (2002).
- [4] Assami. K. Etude comparative de différentes méthodes de piégeage et d'extraction de composés organiques particulaires (aérosols) dans quelques sites caractéristiques urbains et sub/urbains de l'algerois, Thèse de Magister, USTHB-Alger, (2009).
- [5] D. M. Mannino, J. Schreiber, K. Aldous, D. Ashley, R. Moolenaar, D. Almaguer. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.*, 67, 59-64, (1995).
- [6] Yassaa N., Meklati B. Y., Cecinato A. Chemical characteristics of organic aerosols in Algiers city area. Influence of a fat manufacture plant. *Atmos. Environ.* 35, 6003–6013, (2001).
- [7] Lombaert K. Composition et évolution des espèces particulaires émises à l'échappement d'un moteur diesel en fonction des paramètres moteurs et de la nature du carburant. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie. Paris. France (2002).
- [8] Pradyt, Patnaik .Dean's Analytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Handbooks). Second Edition. 1114 p. ISBN: 0071410600, (2004).

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Les teneurs journalière en PM₁₀ dans la région de Bouira

L'étude journalières et hebdomadaires nous a permis d'obtenir et aussi de constater que les concentrations de matières particulaires présentent des variations sur les échelles temporelles. Ces évolutions sont en corrélations directes avec la variabilité des émissions et les variations des paramètres géophysiques et climatiques. [1]

III.1.1. Teneurs journalières en PM₁₀ dans l'air intérieur des locaux (ENAP et SCSEG)

La variation journalière des concentrations en PM₁₀ obtenues dans l'air intérieur des locaux à l'entreprise nationale des Peintures (ENAP) Lakhdaria et à la cimenterie de Sour El Ghozlene (SCSEG) pour la saison de printemps est représentée par le tableau III.1. et la Figure.III.1.

Tableaux. III.1 : Les teneurs atmosphériques mesurées à l'air intérieur de l'entreprise nationale des peintures ENAP et de la société des ciments de Sour el Ghozlane (SCSEG),

Mai-Avril 2015

Les jours	ENAP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SCSEG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
DIM	37,39	421,16
LUN	63,02	640,95
MAR	47,24	609,02
MER	84,44	597,53
JEU	59,45	476,25
MOY	58,31	548,98
MAX	84,44	640,95
MIN	37,39	421,16

Nous remarquons que les concentrations moyennes journalières en PM₁₀ varient entre 37,39-84,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 421,16-640,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivement à ENAP et SCSEG.

Parmi les jours caractérisés par une concentration élevée en PM₁₀ par rapport aux autres jours c'est le Mercredi et Lundi pour l'ENAP et presque tous les jours pour SCSEG, cette différence de variation de concentration en PM₁₀ entre les deux sites montre que SCSEG est riche en PM₁₀ qu'ENAP.

Généralement les concentrations moyennes en PM₁₀ ont dépassé les normes dans les deux sites avec une moyenne de 58,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'ENAP et de 640,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au SCSEG, Organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé que la moyenne annuelle

des PM_{10} ne doit pas dépassée $50\mu g/m^3$, la même valeur est fixé par les autorités Algérienne (décret n° 06-02 du 7 janvier 2006). [2]

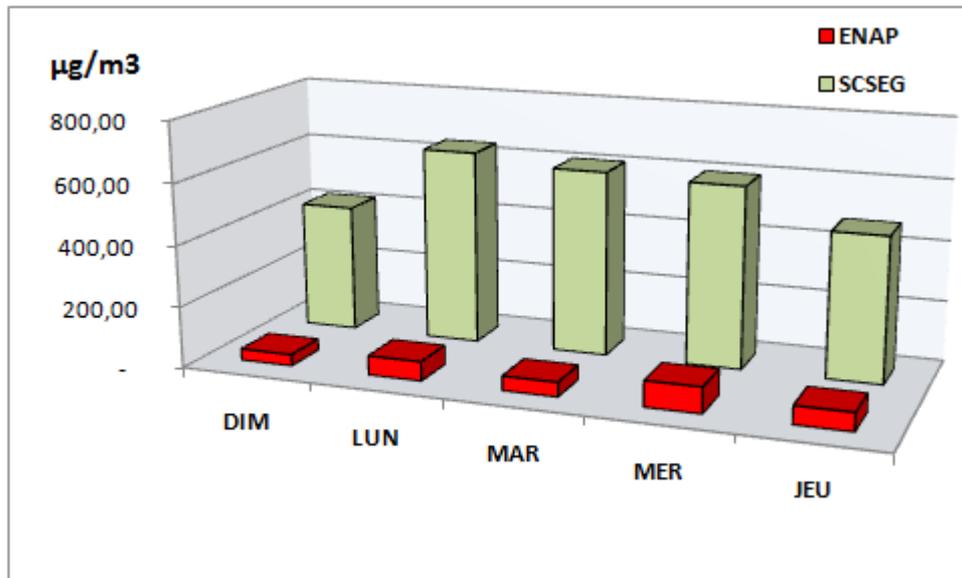


Fig. III.1. Variation journalière des PM_{10} mesurée à ENAP et SCSEG.

III.1.2. Teneurs journalières en PM_{10} dans l'air extérieur des locaux (SCSEG, UAMOB, Tikjda et l'agence de transport)

Les variations journalières des concentrations en PM_{10} obtenues dans l'air extérieur des locaux Tikjda, cimenterie de Sour El Ghozlène (SCSEG), l'Université de Bouira (UAMOB) et l'Agence de transport sont représentés par le tableau. III.2. et la figure. III.2.

Nous remarquons que les concentrations moyennes journalière en PM_{10} varient entre $10,24-23,54 \mu g/m^3$ à Tikjda, $13,42-13,42 \mu g/m^3$ à UAMOB, $38,53-66,70 \mu g/m^3$ à l'agence de transport, $45,97-150,43 \mu g/m^3$ à SCSEG.

Durant la période d'étude les sites de Tikjda et UAMOB présentent des concentrations très faibles $16,9 \mu g/m^3$ et $17,81 \mu g/m^3$, respectivement. Par contre, les concentrations moyennes journalière en PM_{10} au SCSEG atteignent des niveaux très élevés avec une moyenne de $102,88 \mu g/m^3$, ce qui dépasse les normes fixées par le gouvernement Algérien et de l'OMS.

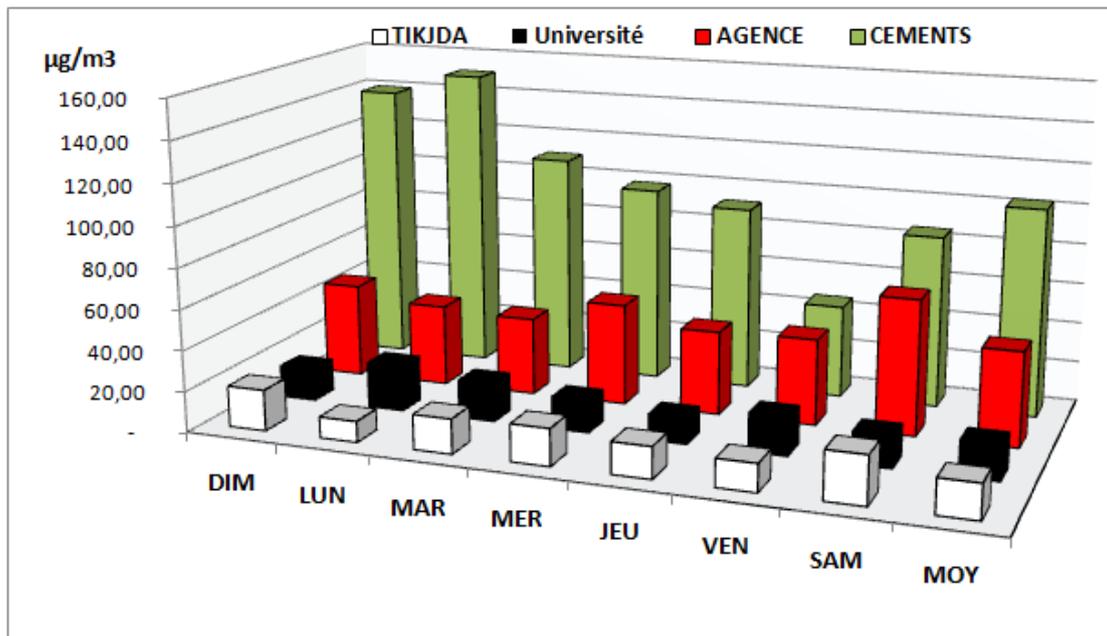


Fig. III.2. Variation journalière des teneurs des PM₁₀ mesurée a Tikjda, (SCSEG) UAMOB, Agence.

III.1.3. Influence de la température

Si la qualité de l'air dépend de l'émission de substances polluantes par différentes sources (industries, transports, sources tertiaires et domestiques), elle dépend aussi des conditions météorologiques. La température influence le transport, la transformation et la dispersion des polluants, elle agit sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz, tandis que la chaleur estivale est favorable pour la volatilité des particules.

Durant la période des mesures aux sites, les températures étaient similaires aux normales de saison Figure. III. (3.4.5.6)

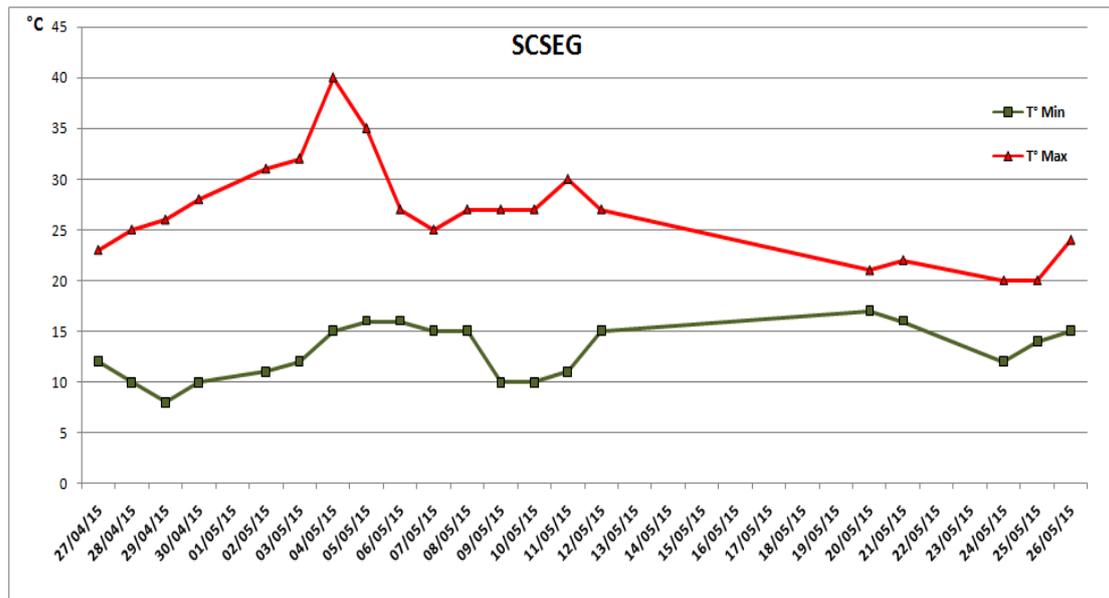


Fig. III.3. Profil moyen journalier des températures mesurées à la société des ciments de Sour el Ghozlane (SCSEG).

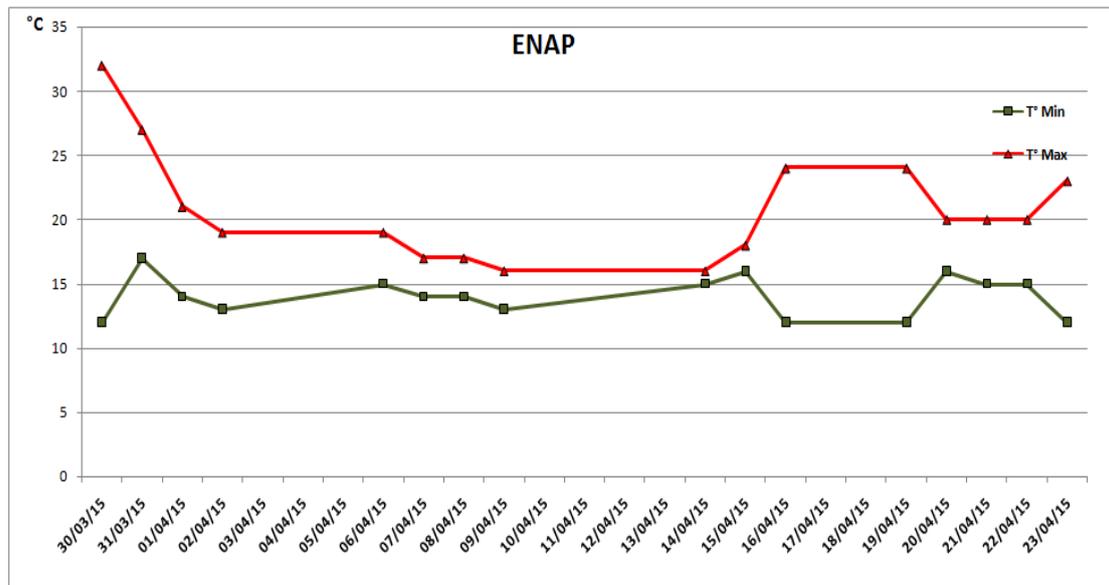


Fig. III.4. Profil moyen journalier des températures mesurées dans l'entreprise nationale des peintures(ENAP) de Lakhdaria

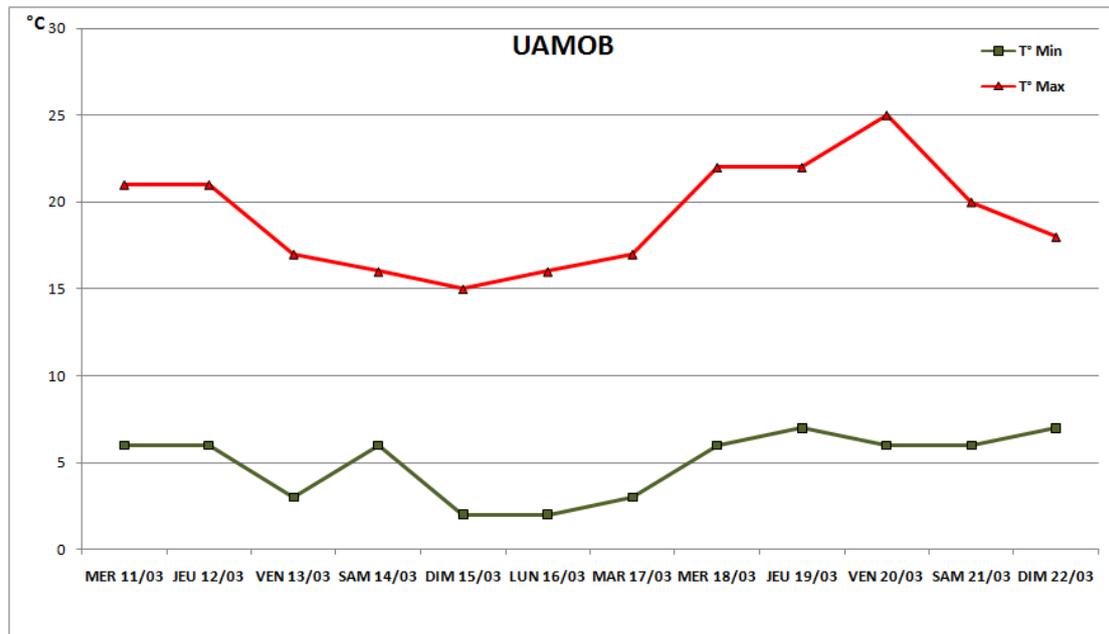


Fig. III.5. Profil moyen journalier des températures mesurées à l'Université de Bouira (UAMOB)

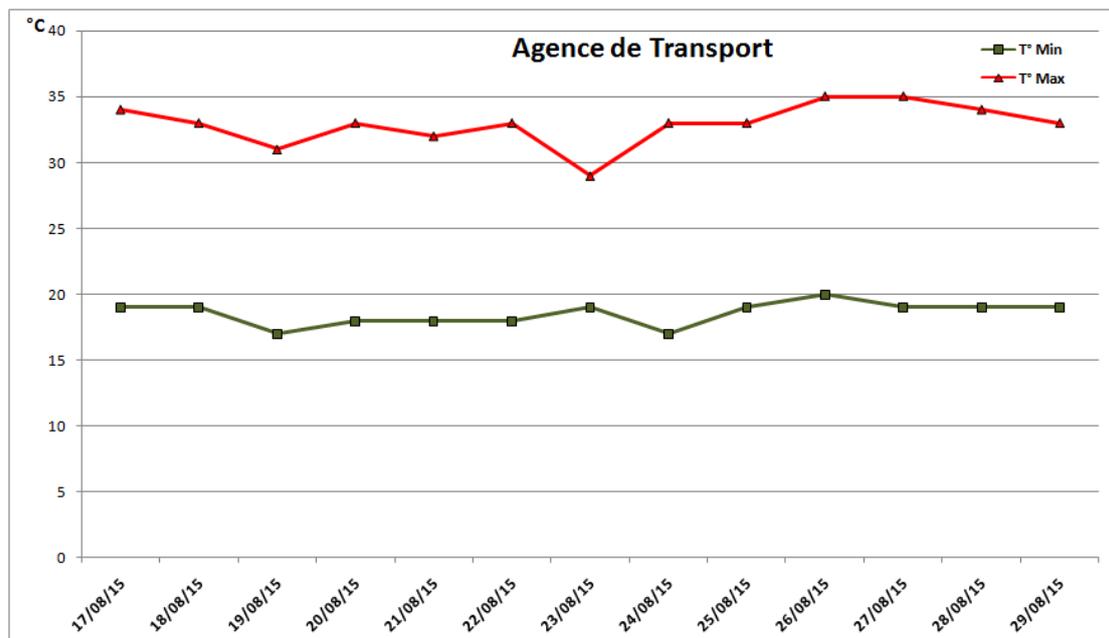


Fig. III.6. Profil moyen journalier des températures mesurées à l'agence de transport de Bouira

III.1.4. Influence de l'humidité

L'humidité influence sur la transformation des polluants primaires émis. Le taux d'humidité relative traduit des conditions météorologiques plus ou moins sèches ce qui favorise ou non les émissions et la remise en suspension des particules. Une humidité relative importante (proche de 100 %) favorise le lessivage de l'atmosphère et plaque les particules au sol contrairement des conditions sèches qui quand elles facilitent les émissions et la remise en suspension de particules dans l'air ambiant.

Les profils moyen journalier de l'humidité mesurée aux sites : SCSEG, ENAP, UAMOB et Agence de transport de Bouira sont présentent sur les figures.III. (7.8.9.10)

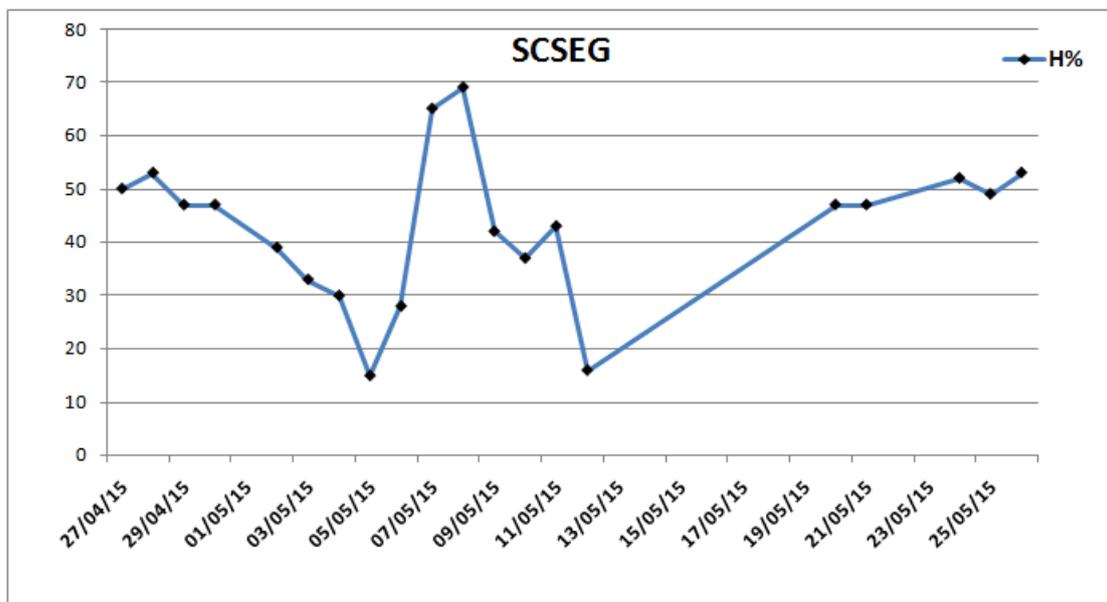


Fig. III.7. Profil moyen journalier de l'humidité mesurée à la société des ciments de Sour el Ghozlane (SCSEG).

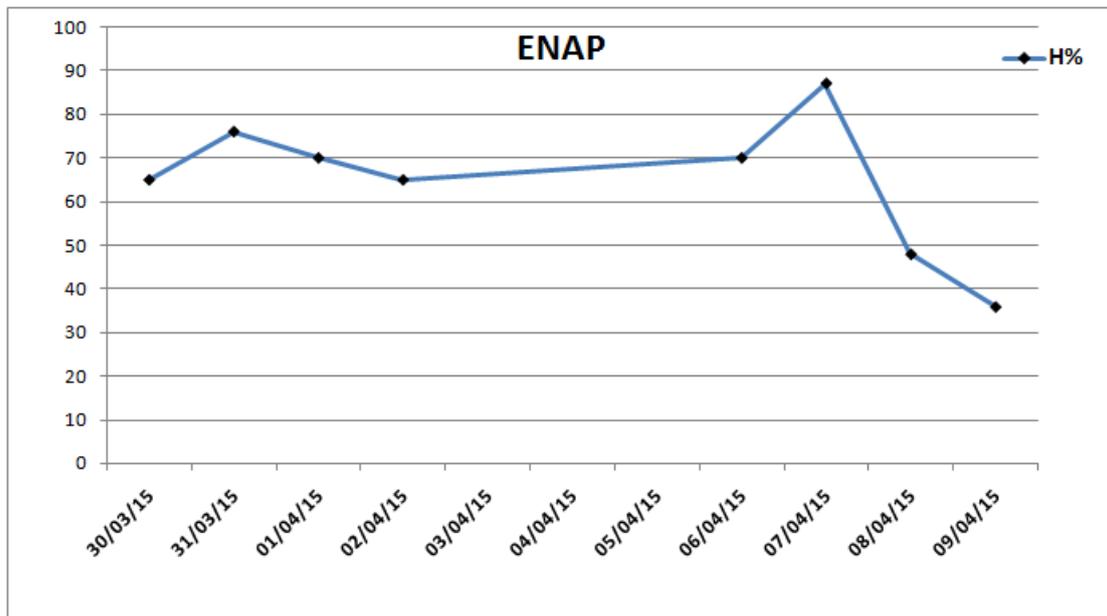


Fig. III.8. Profil moyen journalier de l'humidité mesurée dans l'entreprise nationale des peintures (ENAP) de Lakhdaria.

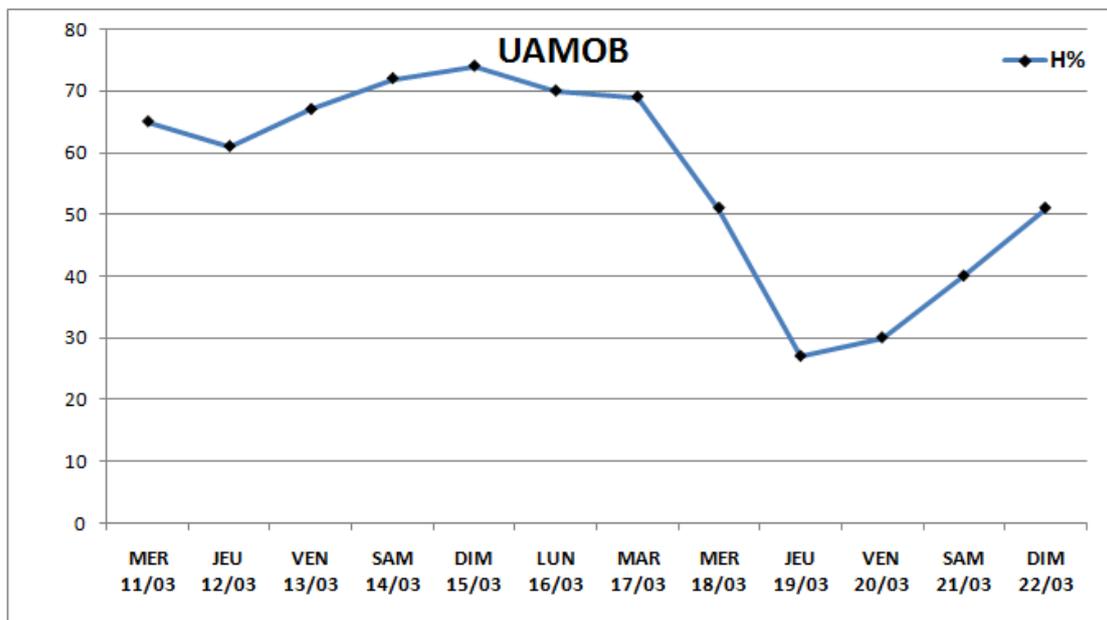


Fig. III.9. Profil moyen journalier de l'humidité mesurée à l'Université de Bouira.

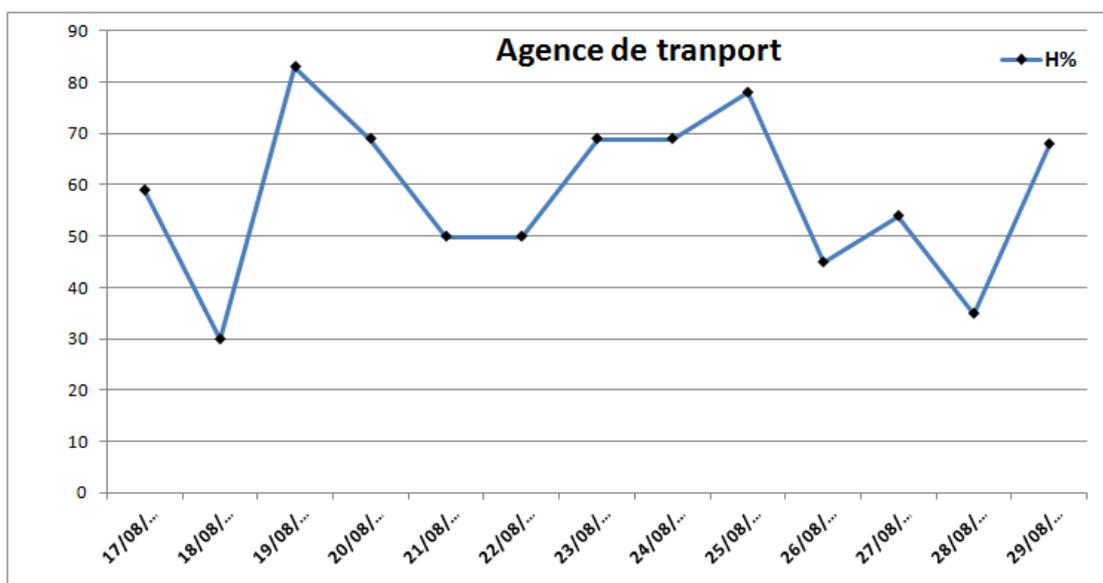


Fig.III.10. Profil moyen journalier de l'humidité mesurée à l'agence de transport de Bouira.

III.2. Les Composés Organiques Volatils (COVs)

Les analyses des échantillons de l'air collectés au niveau des trois sites étudiées, ont permis de mettre en évidence la présence de 12 composés organiques volatils (COVs), Le profil de distribution des concentrations moyennes journalière des COVs qui sont montrés dans la figure III.11, nous a permet observé une déférence de profil pour les trois sites ce qui indique que ces polluants ne sont pas introduit dans l'atmosphère par les mêmes sources d'émission.

Tableau II.2 Les COVs identifié sur les sites SCSEG, ENAP et Université

Composés	Sym	Tr min	m/z	ENAP	Uni	SCSEG 01	SCSEG 02
Isophorone	IsoPh	6,10	82	+	+	+	-
Benzothiazole	BThO	9,90	135	+	+	+	+
Hexachlorocyclopentadiène	HCCPDE	8,53	237	+	+	+	-
Diméthyl phtalate	DMPHT	6,90	163	-	+	-	+
2,4-Dinitrotoluène	2,4-DNTO	14,83	165	+	+	+	+
Diéthyle phthalate	DEPHT	11,92	149	+	+	-	+
Hexachlorobenzène	HCB	4,59	284	-	-	+	-
Dibenzothiophène	DBTPH	17,96	184	+	+	+	+
p-Terphenyl	p-Terp	6,82	230	-	+	-	-
Retene	Ret	20,92	219	-	+	+	+
Benzyl Butyl phthalate	BeBuPh	22,55	149	+	+	+	-
Bis(2-ethylhexyl)adipate	Biset ad	7,72	129	-	-	+	-

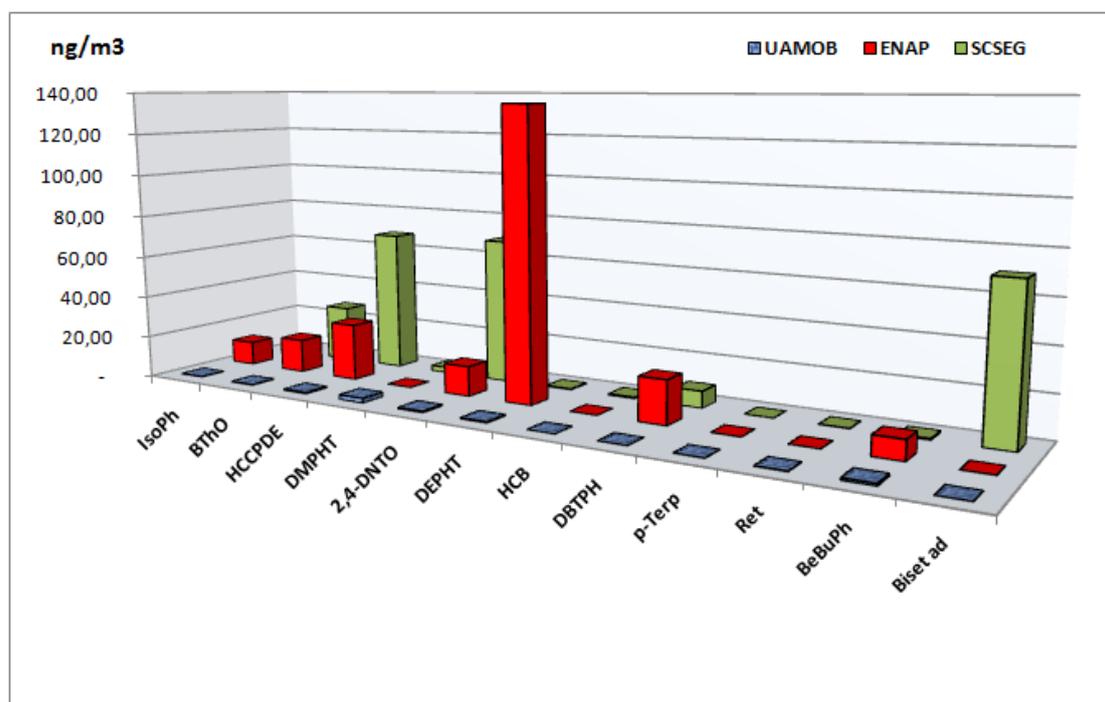


Fig. III.11 Profil de distribution des concentrations moyennes journalière des COVs mesurées à l’UAMOB, ENAP, SCSEG

Durant la période d’étude, les composés organiques volatils sont présents dans les sites ENAP et SCSEG a des valeurs importante et variables, le DEPHT présente une concentration moyenne très élevé à l’ENAP, les trois composé le Biset ad, le 2,4-DNTO et le HCCPDE montre une concentration moyenne remarquable à la société de ciments (SCSEG).

Par contre au niveau de l’université de Bouira l’UAMOB on remarque des faibles concentrations. Les teneurs atmosphériques des composés organiques volatils mesurées à l’air ambiant sont présentés sur le tableau. III.3

Tableaux. III.3 : Les teneurs atmosphériques des composés organiques volatils mesurés à l'air ambiant d'UAMOB, ENAP et SCSEG, Mars-Mai 2015

Composés	UAMOB	ENAP	SCSEG
IsoPh	0,23	11,42	1,35
BThO	0,33	16,02	27,06
HCCPDE	0,68	27,12	67,66
DMPHT	2,19	n.d	2,60
2,4-DNTO	0,66	14,18	68,87
DEPHT	0,54	135,78	0,47
HCB	n.d	n.d	0,67
DBTPH	0,03	20,26	7,83
p-Terp	0,01	n.d	n.d
Ret	0,17	n.d	0,18
BeBuPh	0,98	8,95	0,66
Biset ad	n.d	n.d	69,99
Total	5,82	233,71	247,35

n.d. non détecté

III.3. Les métaux lourds

Les conditions opératoires pour chaque élément sont rapportées dans le Tableau.III.4
Les courbes d'étalonnage utilisées pour l'analyse quantitative sont représentées dans la Fig. III.12.

TableauIII.4. Conditions opératoires pour la courbe d'étalonnage

Les métaux lourds	Longueur d'onde (nm)	1 ^{re} Concentration d'étalonnage mg/L	2 ^{eme} Concentration d'étalonnage mg/L	3 ^{eme} Concentration d'étalonnage mg/L
Fer	248,3	0,5	1	2
Plomb	217	1	5	10
Chrome	425,4	1	2,5	5
Cuivre	324,8	0,5	1	2
Cadmium	228,8	0,5	1	2
Nickel	232	0,5	1	2
Zinc	213,9	0,5	1	2

III.3.1. Les courbes d'étalonnage des métaux lourds

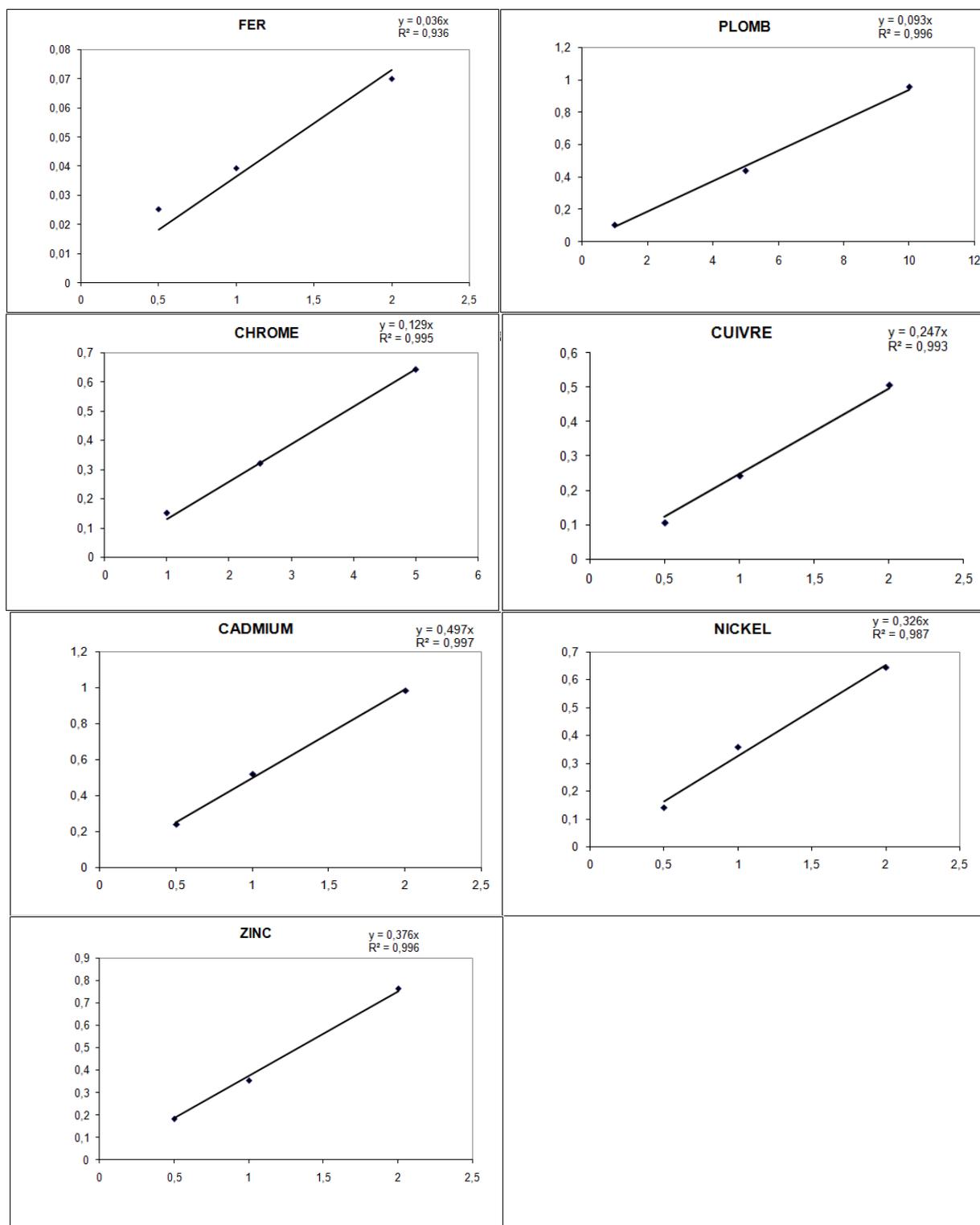


Fig. II.12. Courbes d'étalonnage utilisés pour le dosage des métaux lourds.

III.3.2. Les teneurs atmosphériques en (ng/m³) pour les métaux lourds

Les concentrations moyennes mensuelles des métaux lourds enregistrées mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene durant la période (Avril-Mai 2015) sont consignées dans le Tableau.III.5.

Tableau.III.5 : Concentrations moyennes (ng/m³) journalière des métaux lourds mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene (Avril-Mai 2015)

Les métaux lourds	Echantillon 01 (ng/m ³)	Echantillon 02 (ng/m ³)
Fer	220,32	450,21
Plomb	40,34	67,33
Chrome	54,92	23,98
Cuivre	76,23	12,65
Cadmium	12,54	65,22
Nickel	34,42	44,54
Zinc	120,43	304,32

Pour chaque élément métallique analysé, les teneurs varient généralement. Les résultats du dosage des sept métaux lourds sont présents à des teneurs qui ne dépassent pas les valeurs guides admises.

Le fer montre des teneurs élevées par rapport aux autres éléments métalliques. Les valeurs les plus élevées sont observées à l'Ech 02 de 450,21 (ng/m³) deux fois plus que la valeur d'Ech 01 de 220,32 (ng/m³).

En ce qui concerne le zinc, sa teneur lui aussi est plus élevée 304,32 (ng/m³) à l'Ech 02 notées 3 fois plus que l'Ech 01 d'une valeur de 120,43 (ng/m³).

La concentration du plomb dans l'aérosol issu de SCSEG varie entre 40,34 ng/m³ et 67,33 ng/m³ au Ech 01 et Ech 02 respectivement.

La différence entre les deux ECH (01 et 02) revient au l'arrêt qui a touché la Société des Ciments de Sour el Ghozlene pendant les trois premiers jours des prélèvements.

Le profil de distribution des métaux lourds qui est montrés dans la figure III.13. Nous a permis d'observer presque le même profil pour les deux échantillons ce qui indique que ces polluants sont introduits dans l'atmosphère par les mêmes sources d'émission.

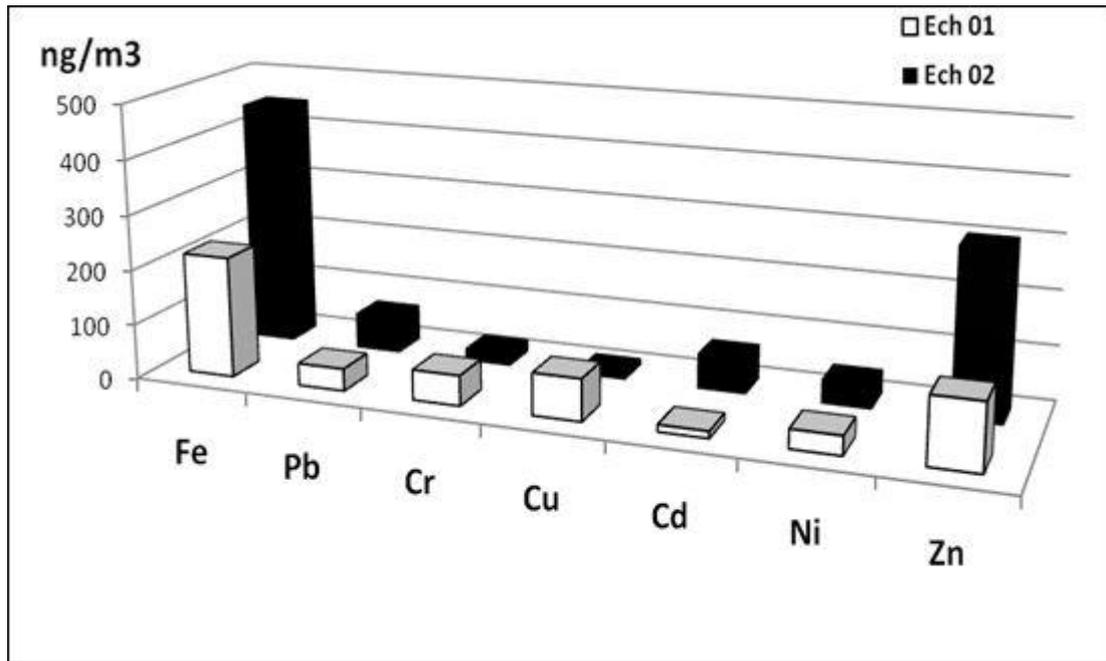


Fig.III.13. Profil de distribution des concentrations moyennes journalière des métaux Lourds mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene (Avril-Mai 2015)

La distribution moyenne de concentrations totales des métaux lourds particulières dans l'atmosphère à la Société des Ciments est montrée dans la Figure. III.14. D'après cette figure nous remarquons que l'aérosol issu de la société des ciments, suite de différents déchets industriels, est riche en composés zinc et fer. Les métaux les plus toxiques (cadmium, nickel et plomb) sont minoritaires. Le cadmium représente 2 % du total et le plomb 7% et le nickel 6%.

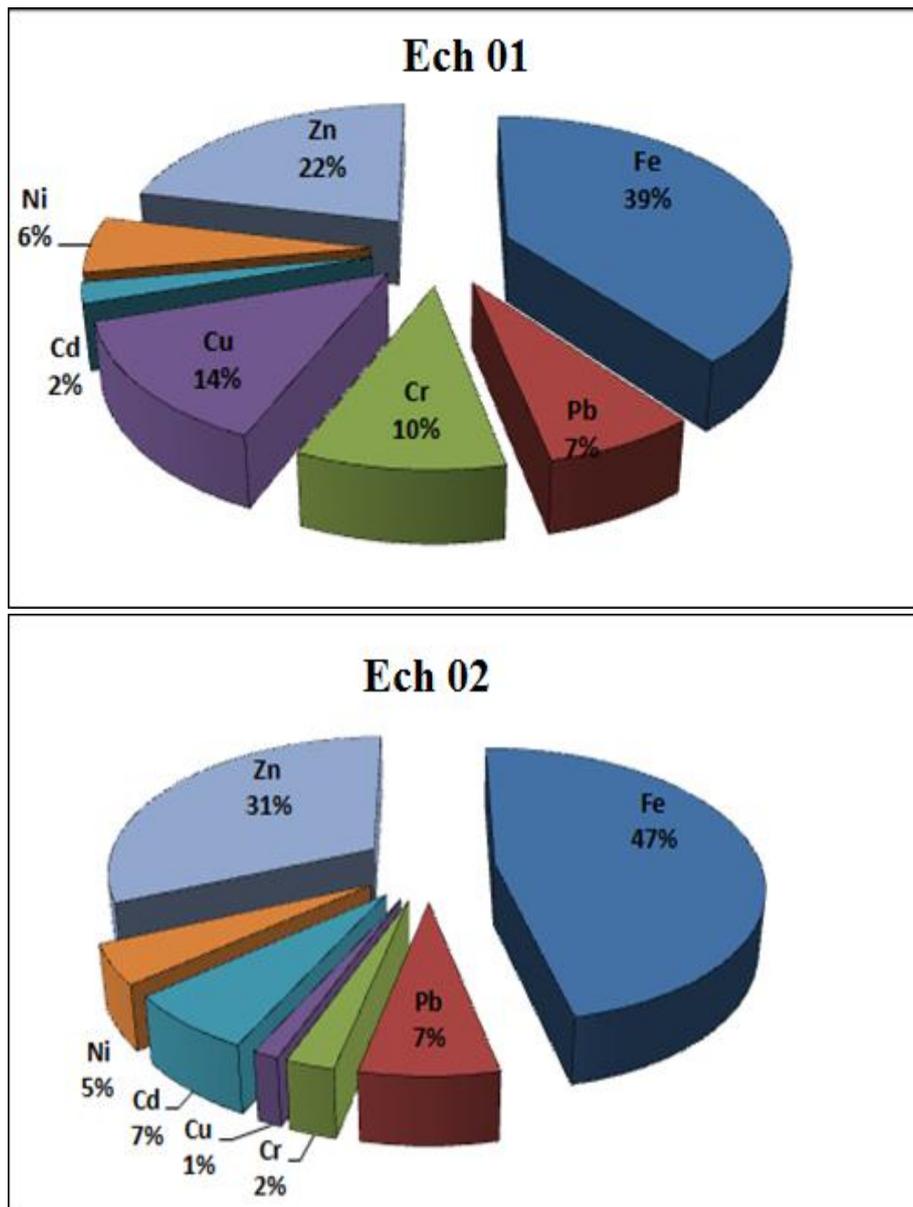


Fig. III.14. Distribution moyenne des concentrations totales des métaux lourds mesurées à la Société des Ciments de Sour el Ghozlene (Avril-Mai 2015)

III.4. Les normes des métaux lourds

Dans le cadre des directives européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE [3,4], le comité européen a mis en place la surveillance de l'Arsenic, du Cadmium, du Nickel et du Plomb dans les poussières types PM₁₀.

Dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé et/ou l'environnement, ces directives fixent pour chacun de ces polluants :

- Une valeur cible en moyenne annuelle ;
- Deux valeurs « seuils d'évaluation » (tableau. III.6).

Tableau. III.6. Valeurs réglementaires en métaux lourds (Directive 2004/107/CE du 15/12/2004)

		Valeur cible	Seuil d'évaluation supérieur (SES)	Seuil d'évaluation Inférieur (SEI)
Directive 2004/107/CE	<i>Arsenic</i>	6 ng/m ³	3,6 ng/m ³	2,4 ng/m ³
	<i>Cadmium</i>	5 ng/m ³	3 ng/m ³	2ng/m ³
	<i>Nickel</i>	20 ng/m ³	14 ng/m ³	10 ng/m ³
Directive 1999/30/CE	<i>Plomb</i>	500 ng/m ³	350 ng/m ³	250 ng/m ³

Le nickel montre des teneurs élevées, les valeurs observées à l'Ech 01 et Ech 02 sont 34,42 et 44,54 ng/m³ respectivement, on dépasse la valeur cible, SES et SEI selon les normes fixé par le comité européen **Directive 2004/107/CE**.

Le cadmium lui aussi est présent a des concentrations remarquable et élevé dans l'Ech01 et Ech 02, a des valeurs de 12,54 ng/m³ et 65,22 ng/m³ respectivement, ses valeurs ont dépassé la valeur cible, SES et SEI selon les normes fixé par **Directive 2004/107/CE**.

Références

[1] Khedidji, S., Ladji, R. and Yassaa, N A Wintertime Study of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor and Outdoor Air in a Big Student Residence in Algiers, Algeria. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 20: 4906–4919, doi: 10.1007/s11356-012-1430-y, (2013).

[2] WHO (World Health Organization) Regional Publications, European Series, No. 91 "Air quality guidelines", 2nd edition,(2000).

[3] La Directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air ambiant. Ce décret mentionne les valeurs cibles relatives à l'ozone, aux métaux (As, Cd, Ni), et au benzo(a)pyrène. 21 mai 2008.

[4] La Directive 2004/107/CE, concerne l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. 15 décembre 2004.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Ce travail constitue une suite des recherches entamées par notre laboratoire sur la connaissance de la composition chimique de l'aérosol atmosphérique de Bouira.

Les premières données proviennent de la caractérisation des sites étudiés par L'analyse qualitative et quantitative par CG/SM de l'aérosol organique collecté dans les différents sites situés à Bouira. Cette étude a montré que la teneur en COVs était importante à l'intérieur d'ENAP et à l'extérieur de SCSEG dans l'air. La valeur de concentration de DEPHT enregistrée dans ENAP ($135,78\text{ng/m}^3$) a dépassé la valeur fixée par l'OMS. Les trois composés le Bis (2-ethylhexyl) adipate, 2,4-Dinitrotoluene et Hexachlorocyclopentadiene enregistrés à SCSEG montre aussi des valeurs élevés.

La technique de l'analyse par SAA a été employée pour la détection qualitative puis pour la détermination quantitative des éléments métalliques choisis pour l'étude. L'analyse des résultats dans le site industriels SCSEG est à l'origine d'importante contamination de l'atmosphère par les métaux lourds. Les concentrations moyennes mensuelles des métaux très toxiques (nickel et cadmium), dépassent la valeur guide proposée par le comité européen.

Des applications sur des échantillons réels provenant de SCSEG qui enregistre une pollution importante due aux rejets de production de ciment. Suite aux résultats obtenus qui ont mis en relief l'existence des métaux présents dans l'air. Notamment, ces dernières nous ont permis d'arriver aux conclusions suivantes :

- Les éléments Zinc, Fer ont été trouvés comme les plus abondants dans SCSEG.
- Les éléments cadmium, Nickel représentent des concentrations remarquables par rapport aux normes fixées par le comité européen, par contre l'élément Plomb présente une faible concentration.

En fin, notre étude ne constitue pas une quelconque recherche de responsabilité de la pollution, elle est purement scientifique et concerne principalement la technique d'analyse par GC/MS et la spectroscopie d'absorption atomique SAA :

(échantillonnage, extractions, purifications, analyse). Le choix des sites (SCSEG, ENAP, UAMOB) a été justifié par son accessibilité et par les différents teneurs qu'ils renferment.

L'omniprésence des COVs et des métaux lourds dans notre environnement à des concentrations de plus en plus élevées ainsi que leur toxicité importante sur la santé humaine fait de cette source de pollution un problème de santé publique de plus en plus important dans les sociétés de SCSEG et ENAP. Il faut demeurer vigilants face aux rejets industriels et s'assurer que les gouvernements et industries prennent les mesures nécessaires, afin de réduire la contamination de l'environnement. Même s'il existe des réglementations spécifiques ciblées sur certains domaines industriels, il faudrait favoriser aussi la mise en place de normes environnementales générales et renforcer les contrôles dans ce sens de la qualité de l'air.