

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER  
Département : Génie de l'Environnement  
Laboratoire : Biotechnologie Environnementale et Génie des Procédés  
(BIOGEP)



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en  
Génie de l'environnement**

**Thème :**

**Analyse des Eléments Traces Métalliques sur des  
Echantillons d'aérosols par Activation Neutronique**

**Rédigé par:**

**DJEMOI Salim Mehdi**

**Directeurs de mémoire : Z.KHODJA Attachée de Recherche CRND (DRARIA)**

**H. LOUNICI Professeur (U.M. BOUIRA)**

**Membres de jury Présidente : Pr N.Abdi (ENP)**

**Examineur : M.C. H.GHRIB (ENP)**

**Invité : M.Mouzai chargé de recherche (CRND)**

**JUIN 2012**

# Remerciements

*Je tiens à remercier Monsieur **MAGNOUCHE A.** Directeur Général du Centre de Recherche Nucléaire de DRARIA pour m'avoir permis de réaliser ce stage au sein du CRND.*

*Ce stage a été effectué au sein du Département des Techniques Nucléaires de la Division Physique et Applications Nucléaires du CRND avec l'aide et le soutien du personnel de cette division en particulier **Mme KHODJA .Z.** qui a accepté de m'encadrer et m'as transmis plus de connaissances que je ne pouvais espérer, pour ses orientations et nombreux conseils, pour son incomparable dévouement, disponibilité malgré la charge importante de travail .*

*Je remercie également l'ensemble du personnel du CRND en l'occurrence du Département des Techniques Nucléaires (DTN) de la Division Physique et Applications Nucléaires (DPAN) qui nous ont aidés tant sur le plan administratif et matériel que sur le plan scientifique : **Mr.Nedjar A., Mr. Mouzai M. M<sup>me</sup>Zergoug Z., Mr. Azli T., et Mr. Alek M.,**ainsi que **Dalal** et **Rachida** pour leur disponibilité, leur confiance et pour nous avoir fait profiter de leur culture scientifique.*

*Je tiens aussi à remercier **Amine, Fares, Latifa,** Avec une mention spéciale a **Meriem et Farah, Farid.***

*Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui on participées de près ou de loin a l'élaboration de ce rapport.*

# ***Dédicaces***

*“On dit que la défaite est orpheline et la victoire a mille pères”*

*Ma victoire a moi à deux mères  
L'une au sens figuré : Mme KHODJA  
L'autre au sens propre*

*Je voudrai aussi Dédier Ce Travail à La Chance.*

*La Chance D'avoir Eu Une Famille Aussi Extraordinaire.*

*La Chance D'avoir Eu Une Mère Comme La Mienne Et Un Frère Aussi Perspicace.*

*La Chance D'avoir Connue Mme Khodja Attachée De Recherche Au CRND.*

*La Chance D'avoir Connu Les Bonnes  
Personnes Durant Ce Parcours.*

*La Chance D'avoir Eu L'honneur D'intégrer Une Ecole Aussi Prestigieuse Et D'en  
Sortir La Tête Haute.*

*A Toues Les Personnes Qui Ne M'ont Pas Crus Capable De Devenir Un Ingénieur  
Polytechnicien, je vous dédie cette victoire.*

## **Table des matières**

Liste des abréviations

Liste des symboles

Liste des tableaux

Liste des figures

*Introduction* ..... 1

### **Partie 1 : Etude Bibliographique**

#### *Chapitre 1 : pollution et polluants atmosphériques*

<i>1. Généralités sur la pollution et les polluants atmosphériques</i> .....	4
<i>1.1. Définition de la pollution atmosphérique</i> .....	4
<i>1.2. Les particules en suspension dans l'air</i> .....	4
<i>1.2.1. Persistance des particules en suspension dans l'atmosphère</i> .....	5
<i>1.2.2. Impact sur la santé</i> .....	6
<i>2. Pollution atmosphérique par les éléments de traces métalliques (ETM)</i> .....	7
<i>2.1. Principales sources d'émissions des ETM</i> .....	8
<i>2.2. Impact toxique et écotoxique</i> .....	9
<i>3. Normes et réglementations</i> .....	10
<i>3.1. Législation Algérienne</i> .....	10
<i>3.2. Législation Internationale</i> .....	11

#### *Chapitre 2 : échantillonnage et méthodes d'analyses*

<i>1. Echantillonnage</i> .....	14
<i>1.1. Introduction</i> .....	14
<i>1.2. Choix du site d'étude</i> .....	14
<i>1.3. Débit d'échantillonnage</i> .....	14
<i>1.4. Prélèvements des particules totales en suspension (TSP) dans l'air</i> .....	15
<i>1.5. Les filtres et les membranes de rétention</i> .....	15
<i>1.5.1. Les filtres en fibre de verre</i> .....	16
<i>1.5.2. Les filtres membranaires</i> .....	16
<i>1.6. Mode de prélèvement</i> .....	17
<i>1.6.1. Prélèvement sans coupure granulométrique</i> .....	17
<i>1.6.2 Prélèvement avec coupure granulométrique</i> .....	17
<i>1.6.3. Prélèvement avec fractionnement granulométrique</i> .....	18
<i>2. Méthode d'analyse des polluants atmosphériques</i> .....	18

2.1	Présentation générale des méthodes d'analyse .....	18
2.2.	Méthodes d'analyse des éléments de trace métallique .....	19
2.2.1.	La spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	19
2.2.2.	L'analyse par rayons X (PIXE) .....	19
2.2.3.	La spectrométrie par fluorescence X (XRF : X-Ray Fluorescence) .....	20
3.	Méthode d'analyse des polluants atmosphériques par Activation Neutronique (AAN) .....	22
3.1.	Principe de la méthode d'Analyse par Activation Neutronique (AAN) .....	22
3.2.	Equation fondamentale de l'AAN et méthode de calcul.....	26
3.3.	Détermination de la concentration des éléments dans un échantillon inconnu .....	28
3.4.	Avantages et inconvénients de la NAA.....	31
3.5.	Domaine d'application de la NAA.....	32

## **Partie 2 : Methodologie Experimentale**

1.	Description du site de prélèvement.....	34
2.	Matériels.....	35
2.1.	Échantillonneur .....	35
2.2.	Média filtrant.....	35
2.3.	Le réacteur nucléaire NUR de Draria .....	36
2.4.	Chaine de spectrométrie gamma .....	37
2.4.1.	Le détecteur.....	38
2.4.2.	Le préamplificateur .....	39
2.4.3.	La haute tension.....	39
2.4.4.	L'amplificateur .....	39
2.4.5.	Le convertisseur analogique digital (numérique) ADC.....	39
2.4.6.	L'analyseur multi-canal MCA .....	39
3.	Méthodes.....	41
3.1.	Echantillonnage par la méthode de filtration.....	41
3.2.	Détermination des teneurs en TSP dans les aérosols collectés .....	41
3.3.	Détermination des teneurs en ETM associés aux TSP .....	41
3.3.1.	Etalonnage de la chaine de mesure .....	42
3.3.2.	Détermination des teneurs en ETM de courte période .....	42
3.3.3.	Détermination des teneurs en ETM de moyenne et longue période .....	44
3.3.4.	Analyse qualitative des résultats obtenus .....	45
3.3.5.	Analyse quantitative des résultats obtenus.....	45

## **Partie 3 : Résultats et Discussions**

1. Etude des concentrations en TSP.....	47
2. Etude des concentrations en ETM associés aux TSP .....	53
2.1. Le Rubidium .....	53
2.2. Le Zinc .....	54
2.3. Le Fer et le Sodium.....	55
2.4. Le Calcium et le Brome .....	57
2.5. L'Antimoine et le Lanthane .....	58
2.6. Le Chrome et le Cérium.....	59
2.7. Le Potassium et l'Ytterbium .....	60
2.8. Le Cobalt et Scandium .....	62
2.9. Le Vanadium et le Manganèse .....	63
2.10. Le Hafnium et Césium .....	64
2.11. Le Chlore .....	66
2.12. L'Aluminium .....	67
3. Comparaison des résultats avec certaines données publiées .....	68
4. Etude de corrélation entre les éléments trace métalliques.....	69
<b>Conclusion générale</b>	
Références bibliographique.....	80
Annexes .....	82

## Liste des abréviations

<b>TSP</b>	Total Suspended Particules
<b>CITEPA</b>	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>ETM</b>	Eléments de Traces Métallique
<b>CEE</b>	Communauté Economique Européenne
<b>LVS</b>	Low Volume Sampler
<b>HVS</b>	High Volume Sampler
<b>CLHP</b>	Chromatographie Liquide Haute Performance
<b>CPG</b>	Chromatographie en Phase Gazeuse
<b>SAA</b>	<i>Spectrométrie d'Absorption Atomique</i>
<b>INAA</b>	Instrumental Neutronic Activation Analyses
<b>XRF</b>	Spectrométrie de Fluorescence X
<b>PIXE</b>	L'analyse par Rayons X Induits par Particules Chargées
<b>DPAN</b>	Département de Physique et Applications Nucléaire
<b>FNAA</b>	Fast Neutron Activation Analysis
<b>ENAA</b>	Epithermal Neutron Activation Analysis
<b>AIEA</b>	Agence Internationale de L'énergie Atomique
<b>PEBD</b>	Poly-éthylène Basse Densité

## Liste des symboles

<b>a</b>	: particule incident au rayonnement
<b>A</b>	: noyau cible
<b>(X)</b>	: noyau composé à l'état intermédiaire sous excitation élevée
<b>B</b>	: noyau radioactif
<b>b</b>	: particule émise au rayonnement
<b>Q</b>	: l'énergie de réaction [la quantité d'énergie dégagée ou absorbée durant la réaction]
<b>n</b>	: nombre d'atomes radioactifs formés à l'instant
<b>N</b>	: nombre d'Avogadro : $6.02 \cdot 10^{23}$
<b>"</b>	: abondance de l'isotope
<b>m</b>	: masse de l'élément d'intérêt dans l'échantillon
<b>}</b>	: Constante de décroissance radioactive de l'isotope radioactif formé ( $\lambda = \ln 2/T$ )
<b>T</b>	: demi-vie de l'isotope radioactif formé
<b><math>\sigma_a</math></b>	: section efficace microscopique de capture de l'élément cible
<b>ti</b>	: durée d'irradiation
<b><math>t_d</math></b>	: représente la durée de décroissance entre la fin de l'irradiation et le début du comptage
<b>v</b>	: Efficacité de la chaîne de comptage pour le pic gamma d'énergie totale
<b><math>\gamma</math></b>	: Intensité des gammas émis
<b><math>C_e</math></b>	: la concentration de l'élément d'intérêt dans l'échantillon (ng)
<b><math>m_{elm}</math></b>	: la masse calculée de l'élément dans l'échantillon (ng)
<b>V</b>	: le volume d'air aspiré.
<b><math>m_{ie}</math></b>	: masse de l'élément i dans l'échantillon
<b><math>m_{is}</math></b>	: masse de l'élément i dans le standard
<b><math>D_e</math></b>	: facteur de décroissance de l'échantillon (temps de décroissance $t_{de}$ )
<b><math>D_s</math></b>	: facteur de décroissance du standard (temps de décroissance $t_{ds}$ )
<b><math>C_e</math></b>	: facteur de comptage de l'échantillon (temps de comptage $t_{ce}$ )
<b><math>C_s</math></b>	: facteur de comptage du standard (temps de comptage $t_{cs}$ )
<b><math>A_{Ne}</math></b>	: surface nette du pic de l'échantillon

**$A_{Ns}$**  : surface nette du pic du standard  
 **$I_{ech}$**  : l'intensité de l'élément à doser dans l'échantillon.  
 **$I_{st}$**  : l'intensité de l'élément à doser dans le standard.  
 **$\lambda$**  : constante radioactive de l'élément à doser.  
 **$td$**  : temps de décroissance.  
 **$m_s$**  : masse du standard préparé ou pesé en (g).  
 **$I_{bla}$**  : l'intensité de l'élément à doser dans le blanc aluminium.  
 **$I_{st}$**  : l'intensité de l'élément à doser dans le standard.  
 **$I_{blf}$**  : l'intensité de l'élément à doser dans le blanc filtre.  
 **$td$**  : temps de décroissance.  
 **$td_{ech}$**  : temps de décroissance de l'échantillon.  
 **$td_{st}$**  : temps de décroissance du standard.  
 **$td_{blf}$**  : temps de décroissance blanc filtre.  
 **$td_{sba}$**  : temps de décroissance du blanc aluminium.  
 **$m_{ie}$**  : la masse de l'élément à doser dans l'échantillon.  
 **$M$**  : la masse molaire de l'élément.  
 **$\Theta$**  : l'abondance isotopique.  
 **$\phi$**  : flux neutronique ( $\phi = 10^{13}$  neutrons /  $cm^2.s$ ).  
 **$\gamma$**  : rapport d'embranchement.  
 **$\sigma$**  : section efficace.  
 **$\epsilon$**  : l'efficacité du détecteur.  
 **$C_{ie}$**  : concentration de l'élément i dans l'échantillon.  
 **$C_{is}$**  : concentration de l'élément i dans le standard.  
 **$I_e$**  : intensité de l'élément dans l'échantillon.  
 **$I_s$**  : intensité de l'élément dans le standard.  
 **$\lambda$**  : constante radioactive de l'élément.  
 **$td_e$**  : temps de décroissance de l'échantillon.  
 **$td_s$**  : temps de décroissance du standard.  
 **$Me$**  : masse de l'échantillon.



## **Liste des tableaux**

Tableau 1: principaux secteur contributeurs aux rejets de métaux lourds dans l'atmosphère.....	8
Tableau 2: Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la Directive Européenne. .	11
Tableau 3 : Les normes des PM 10 dans l'air.....	12
Tableau 4 : Les normes des PM 2.5 dans l'air.....	12
Tableau 5 : Avantages et inconvénients liés à l'utilisation de préleveurs de type LVS et de type HVS. ....	15
Tableau 6: Propriétés et les caractéristiques des différents types des filtres ainsi que leurs efficacités. ....	16
Tableau 7 : Types de prélèvement sans coupure granulométrique.....	17
Tableau 8: Les méthodes d'analyse de polluants. ....	18
Tableau 9 : Les teneurs en TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en fonction des dates de prélèvements .....	47
Tableau 10 : Comparaison entre les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en TSP en [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] de deux sites à Alger : urbain et périurbain. ....	52
Tableau 11 : Comparaison des résultats obtenus avec les résultats de certaines villes du monde.....	68
Tableau 12 : matrice des coefficients de corrélation de Pearson pour différents ETM.....	70
Tableau 13 : couples d'éléments avec un coefficient de corrélation supérieur à 0.85.....	71

## **Liste des figures**

Figure 1: Schéma de base d'un appareil de Spectrométrie d'absorption atomique. ....	19
Figure 2: Schéma illustrant le principe de la PIXE.....	20
Figure 3: Schéma du spectromètre de fluorescence X (XRF). ....	22
Figure 4 : Diagramme illustrant le processus de la capture neutronique par un noyau cible suivi d'une émission de rayons gamma. ....	26
Figure 5 : L'image satellitaire relative au site de prélèvement. Google Earth Software. ....	34
Figure 6 : Les filtres en nitrate de cellulose .....	36
Figure 7 : Configuration d'une chaîne de spectrométrie gamma .....	38
Figure 8: Schéma du conditionnement des échantillons dans la capsule destinée à l'irradiation .....	44
Figure 9 : Évolution des teneurs atmosphériques en TSP mesurées à Draria (Alger). ....	51
Figure 10 : Variation des concentrations du Rubidium en fonction de la date de prélèvement. ....	53
Figure 11 : Variation des concentrations du Zinc en fonction de la date de prélèvement. ....	54
Figure 12: Variation des concentrations du Fer et du Sodium en fonction de la date de prélèvement. ....	55
Figure 13: Variation des concentrations du Calcium et du Brome en fonction de la date de prélèvement. ....	57
Figure 14: Variation des concentrations de l'Antimoine et du Lanthane en fonction de la date de prélèvement.....	58
Figure 15: Variation des concentrations du Chrome et du Cérium en fonction de la date de prélèvement. ....	59
Figure 16: Variation des concentrations du Potassium et de l'Ytterbium en fonction de la date de prélèvement.....	60
Figure 17: Variation des concentrations du Scandium et de Cobalt en fonction de la date de prélèvement. ..	62
Figure 18: Variation des concentrations du Vanadium et du Manganèse en fonction de la date de prélèvement.....	63
Figure 19: Variation des concentrations du Césium et de l'Hafnium en fonction de la date de prélèvement. ....	64
Figure 20: Variation des concentrations du Chlore en fonction de la date de prélèvement. ....	66
Figure 21 : Variation des concentrations de l'Aluminium en fonction de la date de prélèvement. ....	67

Figure 22: nuages de régression de différents couples d'ETM avec un coefficient de corrélation supérieur à 0,85. (A) Fe/Ca ; (B) Fe /Yb ; (C) Sc/Fe; (D) Co/Fe; (E) Ru/Fe; (F) Hf/Fe; (G) Co/Yb; (H) Co/Sc; (I) Ru/Yb; (J) Ce/Sc; (K) Hf/Co; (L) Hf/Ca.....74

Figure 23 : Diagramme de composantes.....75

## Introduction générale

*Dans le cadre du projet de recherche, inscrit au Département des Techniques Nucléaires du centre de recherche nucléaire de DRARIA (CRND), Alger ; des travaux de recherche sont en cours de réalisation pour l'étude de la pollution atmosphérique par les particules inhalables.*

*En effet, avec la multiplication des pôles industriels dans notre pays, les rejets dans l'atmosphère, dans les effluents liquides et les sols se sont multipliés rapidement et ont conduit dans certaines localités (Alger, Annaba, Skikda, Arzew) à un déséquilibre écologique significatif engendrant l'apparition de maladies graves au sein de la population.*

*Même à de très faibles concentrations, l'impact toxicologique des éléments traces métalliques (ETM) présents dans l'atmosphère et libérés par l'activité humaine est très important.*

*En effet, les phénomènes de pollution atmosphérique sont à l'origine de préoccupations environnementales, concernant les écosystèmes, la biosphère et des préoccupations sanitaires. L'air est, pour l'être humain, un « aliment » spécifique et indispensable ; nous en respirons 15 m<sup>3</sup> par jour, soit près de 20 kg, à comparer à 2 kg de d'eau potable et 1 kg d'aliments divers. L'air est impossible à purifier, contrairement aux autres aliments, sauf situation particulière dans des enceintes fermées.*

*L'appareil respiratoire constitue une voie d'exposition privilégiée pour les aéro-contaminants chimiques, qu'il s'agisse de gaz ou de particules inertes, qui peuvent avoir des effets nocifs qui se manifestent à court ou à long terme. Les études épidémiologiques récentes observent des excès de risques, faibles au niveau individuel, mais non négligeables au niveau de la population, pour différents indicateurs de santé comme la mortalité, les hospitalisations dues aux maladies respiratoires, cardiovasculaires, rénales, cérébrales et surtout les cancers (CHESTNUL L.G. et al, 1991).*

*Durant ces dernières décennies, la pollution de l'air en milieu urbain est principalement d'origine automobile. La combustion incomplète du carburant libère dans l'atmosphère des particules fines qui peuvent véhiculer des métaux lourds (MORCHEOINE A., 1996). Nous pouvons, à partir d'une recherche d'informations locales en effectuant un échantillonnage de l'air urbain, montrer l'influence directe ou indirecte de l'homme sur la modification de la composition physicochimique de l'air.*

*C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui consiste à faire un diagnostic environnemental, en se limitant sur deux volets portant sur les particules totales en suspension (TSP) et les éléments traces métalliques (ETM) qu'elles véhiculent. En effet, ce travail s'est basé sur l'estimation des teneurs en TSP dans l'air et la recherche des éléments*

---

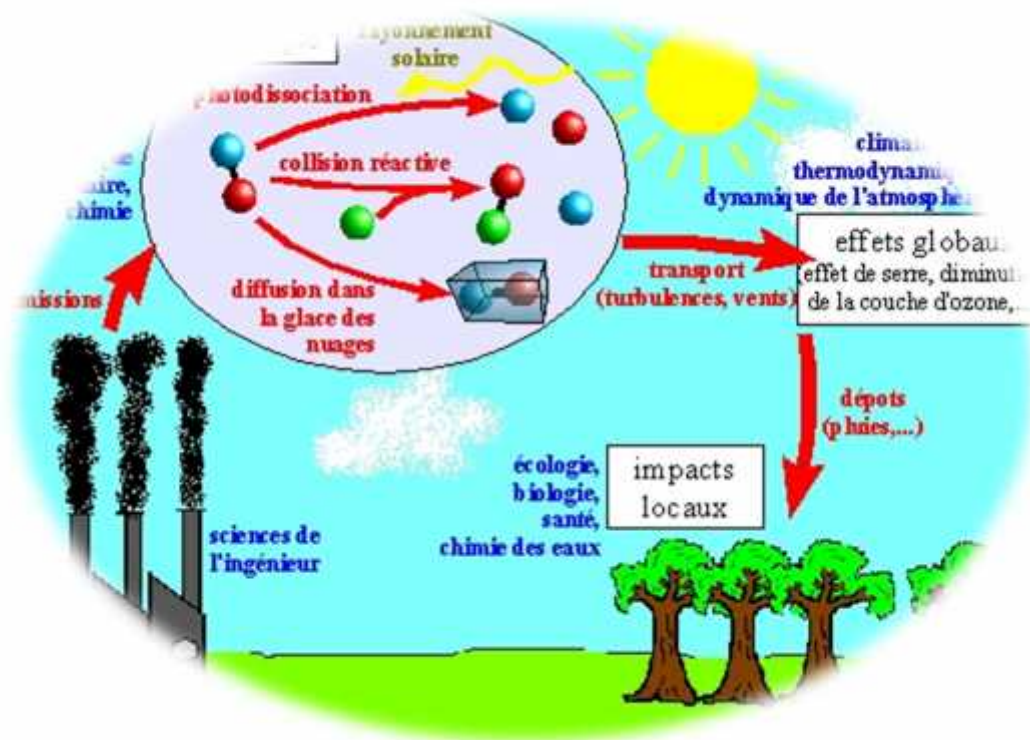
*de traces métalliques (Ca, Br, Sb, La, K, Yb, Lu, Na, Fe, Cr, Sc, Co, Ce, Rb, Ta, Cs, Hf, Se, Zn, Cd, Gd, V, Mn, Cl, Al) qui y renferment et, les quantifier par un procédé physique.*

*Pour évaluer le niveau de concentrations de ces polluants, il serait préférable de disposer de techniques d'analyse présentant des limites de détection inférieures au seuil de toxicité, répondant aux normes appropriées.*

*En Algérie, l'analyse des ETM dans les échantillons de l'environnement est souvent accomplie à l'aide des méthodes conventionnelles présentant l'inconvénient d'être mono-élémentaires et par conséquent nécessitant des prétraitements pouvant, ainsi conduire à la contamination de l'échantillon. Ce n'est pas le cas de la technique d'Analyse par Activation Neutronique Instrumentale (INAA) ; ainsi le choix et l'avantage de cette technique reposent sur l'aspect multi-élémentaire d'une part et la grande sensibilité d'autre part ; ce qui constitue un grand avantage pour rechercher et interpréter les corrélations qui pourront exister entre les concentrations des éléments toxiques considérés.*

*Ainsi, la connaissance des niveaux de pollution en éléments traces métalliques constitue une étape importante à l'évaluation de l'importance de la contamination qui permettra enfin la mise en place d'un programme de surveillance des retombées atmosphériques.*

# *Partie bibliographique*



## *Chapitre I*

# *Pollution et Polluants Atmosphériques*

## 1. Généralités sur la pollution et les polluants atmosphériques

### 1.1. Définition de la pollution atmosphérique

Il s'agit d'un type de pollution caractérisé par une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air. Cette dégradation est généralement causée par un ou plusieurs éléments (particules, substances, matières...) dont le degré de concentration et les durées de présence sont suffisants pour produire un effet toxique et/ou écotoxique. (FONTAN J., 2003)

On compte aujourd'hui des dizaines de milliers de molécules différentes, polluants avérés ou suspectés qui, pour beaucoup, agissent en synergie entre eux et avec d'autres paramètres (Ultraviolets solaire, hygrométrie, acides, etc.). Les effets de ces synergies sont encore mal connus. Cette pollution atmosphérique est un enjeu de santé public, au niveau mondial comme individuel. Cette pollution peut revêtir de multiples formes et être :

- brève ou chronique ;
- visible (fumée) ou invisible (pesticides dans l'air) ;
- émise massivement ou en faible dose ;
- émise en quantité dispersée (exemple : pollution émise par les centaines de millions de pots d'échappement) ;
- locale et émise par une source fixe (exemple : cheminée, usine...), ou émise par des sources mobiles (voitures, épandeurs de pesticides, transport maritime ou aérien etc.), l'ensemble de ces sources contribuent à une pollution globale intérieure ou extérieure (exemple : augmentation de l'effet de serre due au CO<sub>2</sub> ou composés organiques volatils dans l'espace domestique).(FONTAN J., 2003)

### 1.2. Les particules en suspension dans l'air

Ce sont de fines particules en suspension dans l'atmosphère, leurs tailles sont de l'ordre du micromètre

Leur durée de vie dans l'atmosphère est de l'ordre de la semaine.

Les aérosols ont des origines diverses et peuvent provenir de sources primaires (poussières désertiques, embruns marins, cendres volcaniques, poussières industrielles) ou de sources secondaires par transformation gaz-particule (sulfates, composés organiques). Certaines particules sont émises par des processus naturels (érosion des sols, embruns océaniques), d'autres proviennent des activités humaines (activité industrielle, circulation automobile, feux,...).

Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Souvent, les particules sont classées en fonction de leur granulométrie:

- Particules en suspension (TSP)

- PM10 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10  $\mu\text{m}$ .
- PM2.5 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5  $\mu\text{m}$ .
- PM1.0 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1  $\mu\text{m}$ .
- Ultrafines : particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1  $\mu\text{m}$ .
- Nanoparticules : particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03  $\mu\text{m}$ .

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollution atmosphérique. (MARCHEOINE A., 1997).

### *1.2.1. Persistance des particules en suspension dans l'atmosphère*

Les particules peuvent demeurer dans l'atmosphère plus ou moins longtemps, selon leur taille. D'autres facteurs peuvent influencer sur leur durée de séjour dans l'air, par exemple les précipitations qui accélèrent leur élimination de l'atmosphère.

- Les particules grossières (fraction des PM<sub>10</sub> de taille comprise entre 10 et 2,5 micromètres) retombent assez vite. Leur durée de séjour dans l'air est de l'ordre de 1 jour.
- Ce sont les particules très fines (fraction des PM<sub>1</sub> de taille comprise entre 1,0 et 0,1 micromètre) qui restent le plus longtemps en suspension dans l'atmosphère, jusqu'à 1 semaine environ. Elles peuvent ainsi être transportées sur de longues distances. Elles ne sont pratiquement éliminées que par les précipitations et ce qui provoque leur accumulation dans l'air.
- Dans le cas des particules ultrafines (ou nanoparticules PM<sub>0,1</sub>), d'autres facteurs, qui accélèrent leur élimination de l'atmosphère, interviennent. Leur durée de séjour est très courte, de l'ordre de quelques minutes à quelques heures.

Deux premières observations s'imposent :

- La pollution atmosphérique engendrée par les sources émettrices peut subsister longtemps après la fin des émissions.
- Même des émissions locales peuvent polluer l'air très loin de leur lieu d'origine.
- Autre exemple, impliquant la combustion de biomasse. (BLIEFERT et PERRAUD, 2001.): au printemps 2006, des feux agricoles de l'Europe de l'Est ont considérablement pollué l'air d'une île de l'Arctique, à 3 000 km de distance

### 1.2.2. Impact sur la santé

Selon leurs tailles, ces particules fines pénètrent plus ou moins profondément dans le système respiratoire.

- Des particules de type  $PM_{2,5}$  par exemple arrivent jusqu'au niveau des alvéoles pulmonaires.
- Les particules issues des processus de combustion sont identifiées comme étant particulièrement dangereuses.

Le CITEPA organisme qui assure la réalisation technique des inventaires de la pollution atmosphérique en France, signale qu'une attention particulière doit être portée aux émissions de particules : « Les particules solides servent de vecteurs à différentes substances toxiques voire cancérigènes ou mutagènes (métaux lourds, HAP,...) et restent de ce fait un sujet important de préoccupation ».( MARCHEOINE A., 1997)

Selon l'OMS, au moins 1,4 % des décès dans le monde seraient induits par les particules polluantes de l'air qui est aussi pour un grand nombre de cas un facteur de diminution de l'espérance de vie :

- de 8,2 mois dans l'Europe des quinze ;
- de 10,3 mois dans les dix nouveaux États de l'Union européenne (plus pollués).
- Les effets sont trois fois plus élevés là où sont concentrés les transports et émissions de chauffage ou centrales thermiques mal filtrées (par rapport aux zones moins polluées)
- Les PM de taille inférieure à 2,5 micromètres ( $PM_{2,5}$ ) sont les plus dangereuses.

En Europe

- Dans l'Europe des vingt-cinq, ce sont environ 348 000 morts prématurées par an qui sont attribuées à cette pollution.
- Dans l'Europe des quinze, on note une diminution de la contribution du transport routier aux émissions de  $PM_{2,5}$ , malgré une augmentation du trafic, et cette tendance devrait se poursuivre dans les prochaines années avec les nouvelles réglementations européennes. En revanche, toujours pour les émissions de  $PM_{2,5}$ , on prévoit une augmentation de la contribution des procédés industriels et du chauffage domestique au bois ; ce dernier deviendrait à terme la principale source de  $PM_{2,5}$ .
- Un rapport EMEP, [2] a montré qu'en 2005-2006 de nombreuses grandes villes européennes étaient très polluées par les particules, avec des teneurs moyennes en  $PM_{2,5}$  dépassant quotidiennement et annuellement - et de beaucoup - les seuils, valeur limites ou directives de l'OMS (qui sont plus strictes que les limites européennes).



Les valeurs limites OMS sont aussi dépassées dans des secteurs de taille très significative en aval de zones urbaines denses, suite au transport des petites particules par le vent. Selon une étude récente, les variations d'espérance de vie de la fin des années 1970 au début des années 2000, mesurée dans 51 régions urbanisées des États-Unis ont confirmé une corrélation entre la mortalité et l'évolution du taux de pollution de l'air par les particules fines ; Une diminution de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de particules fines  $\text{PM}_{2,5}$  ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) dans l'air s'est traduit sur cette période par une augmentation l'espérance de vie de 5 à 9 mois (en tenant compte des évolutions socio-économiques, démographiques et de l'exposition au tabac durant la même période). (IMACHMACHINE R., 2007).

## 2. Pollution atmosphérique par les éléments de traces métalliques (ETM)

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques (ETM). Exemple de métaux lourds : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn). Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre. Néanmoins, on distingue en particulier :

– Mercure : C'est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu. Il est extrêmement toxique et a des effets sur le système nerveux. La volatilité importante du mercure en fait un polluant important dans les études de pollution atmosphérique. (FONTAN J., 2003.)

– Plomb : Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère est liée au transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir anti détonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. Depuis l'interdiction du plomb dans les carburants (en 2000, pour la France), les rejets de plomb ont considérablement chuté et ces concentrations sont considérées maintenant comme étant à des niveaux acceptables. Son ingestion déclenche le saturnisme.

– Cadmium : il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinal.

Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments pouvant être utiles.

Ces éléments sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols. (FONTAN J., 2003.)

### 2.1. Principales sources d'émissions des ETM

**Tableau1:** principaux secteur contributeurs aux rejets de métaux lourds dans l'atmosphère.  
[1]

<b>Polluant</b>	<b>Principaux secteurs contributeurs</b>
<b>Arsenic</b>	<i>Industrie manufacturière (minéraux non-métalliques, matériaux de construction)</i>
<b>Cadmium</b>	<i>Industrie manufacturière (métallurgie, minéraux non-métalliques et matériaux de construction)</i>
<b>Chrome</b>	<i>Industrie manufacturière (métallurgie)</i>
<b>Cuivre</b>	<i>Transports routier et ferroviaire</i>
<b>Mercure</b>	<i>Industrie manufacturière (chimie, minéraux non-métalliques, matériaux de construction, incinération des déchets)</i>
<b>Nickel</b>	<i>Transformation d'énergie (production d'électricité, raffinage de pétrole)</i>
<b>Plomb</b>	<i>Industrie manufacturière (métallurgie, minéraux non-métalliques et matériaux de construction)</i>
<b>Sélénium</b>	<i>Industrie manufacturière (minéraux non-métalliques, matériaux de construction)</i>
<b>Zinc</b>	<i>Industrie manufacturière (métallurgie)</i>

## 2.2. Impact toxique et écotoxique

### ➤ **Impact sur l'environnement**

#### ✓ **Contamination de l'air**

Les principales sources de métaux lourds dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux, des véhicules... etc. Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont en fonction de leur taille, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules.

Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre... etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines (FONTAN J., 2003).

#### ✓ **Contamination des sols**

Les métaux peuvent être, soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes, elles n'ont aucune influence sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe sur l'environnement. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

#### ✓ **Contamination de l'eau**

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux lourds dans l'environnement car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction...etc.). Cette évolution dépend fortement du milieu. En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres : La forme chimique initiale du métal la perméabilité du sol et du sous-sol, et la teneur en matières organiques du sol.

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes : les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation...etc.(MARCHEOINE A., 1997).

### 3. Normes et réglementations

#### 3.1. Législation Algérienne

Le journal officiel de la République Algérienne du 8Dhou El Hidja 1426 / 8 janvier 2006 consacre les articles 03,04, 05, 06, 07, 08, 09 et 10 pour la surveillance de la qualité de l'air.

**L'Art. 3.-** La surveillance de la qualité de l'air concerne les substances suivantes :

- Le dioxyde d'azote ;
- Le dioxyde de soufre ;
- L'ozone ;
- Les particules fines en suspension.

**L'Art. 4. -**La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'observatoire national de l'environnement et du développement durable.

Elle s'effectue selon les modalités techniques fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

**L'Art. 5.-**La détermination des objectifs de qualité de l'air et des valeurs limites de pollution atmosphérique est fixée sur une base moyenne annuelle.

**L'Art. 6.-** Les valeurs limites ainsi que les objectifs de qualité de l'air sont fixés comme suit :  
Particules fines en suspension :

Selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules concernées, les seuils d'alerte sont fixés, le cas échéant, par arrêté conjoint du ministre chargé de l'environnement et du ministre concerné par l'activité engendrant le type de particule considérée.

a) Objectif de qualité ou valeur cible : **50** µg/m<sup>3</sup>.

b) Valeur limite : **80** µg/m<sup>3</sup>.

Cet article parle aussi des valeurs limites des autres polluants, à savoir le Dioxyde d'azote, leDioxyde de soufre et l'Ozone.

**L'Art. 7-** Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixés sur une base moyenne horaire.

**L'Art. 9-** Lorsque les seuils d'information et les seuils d'alerte fixés par l'article ci-dessus (Art6) sont atteints ou risquent de l'être, le ou les walis concernés prennent toutes les mesures visant à protéger la santé humaine et l'environnement ainsi que les mesures de réduction et/ou de restriction des activités polluantes.

### 3.2. Législation Internationale

La convention de Genève en 1979 sur la pollution atmosphérique à longue distance a plafonné les émissions de soufre (868 KT en 2000, 770 KT en 2005 et 737 KT en 2010) et a préconisé une réduction des composés organiques volatils non métalliques de 30% (de 1988 à 1999) et une baisse des oxydes d'azote de 30% (de 1980 à 1999) (BLIEFERT C et Al., 2001).

La première directive du conseil de la communauté Economique Européenne(CEE) a fixé une teneur maximale autorisée en composés de plomb dans l'essence comprise entre 0.4 à 0.15 g par litre (78/611 du 29 juin 1978) (BOURIER J.P. et KISS A., 2004).

Le tableau suivant donne les différentes valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la directive Européenne.

**Tableau 2:** Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la Directive Européenne. (OUZERARA K.et ZEHAR S., 2007).

<b>Métal</b>	<b>Valeur guide OMS</b>	<b>Directive Européenne</b>
<b>Cr</b>	-	6 ng/m <sup>3</sup>
<b>Cd</b>	5ng/m <sup>3</sup>	5 ng/m <sup>3</sup>
<b>Mn</b>	-	-
<b>Ni</b>	20 ng/m <sup>3</sup>	20 ng/m <sup>3</sup>
<b>Pb</b>	500 ng/m <sup>3</sup>	900 ng/m <sup>3</sup>
<b>Hg</b>	-	50 ng/m <sup>3</sup>

Les tableaux suivants montrent les normes des particules en suspension (TSP) dans l'air.

**Tableau 3** : Les normes des PM 10 dans l'air.

<b>Natures des Valeurs</b>	<b>Directive Européenne 2002</b>	<b>Décret Français</b>	<b>Normes Algériennes (TSP)</b>
<b>Objectif de qualité</b>	30 ug/m <sup>3</sup>	30 ug/m <sup>3</sup>	-
<b>Valeur limite (moyenne annuelle)</b>	20 ug/m <sup>3</sup>	50 ug/m <sup>3</sup>	80 ug/m <sup>3</sup>
<b>Valeur limite (moyenne journaliere)</b>	50 ug/m <sup>3</sup>	40 ug/m <sup>3</sup>	-
<b>Seuil d'information</b>	80 ug/m <sup>3</sup>	80 ug/m <sup>3</sup>	-
<b>Seuil d'alerte</b>	125 ug/m <sup>3</sup>	-	-

**Tableau 4** : Les normes des PM 2.5 dans l'air.

<b>Natures des Valeurs</b>	<b>OMS</b>	<b>Recommandation Française</b>
<b>Moyenne annuelle</b>	10 ug/m <sup>3</sup>	15 ug/m <sup>3</sup>

Source : Organisation mondiale de la Santé (OMS)

# ***Chapitre II***



***Echantillonnage et méthodes  
d'analyses des polluants  
atmosphériques***

## 1. Echantillonnage

### 1.1. Introduction

Généralement l'échantillonnage des particules en suspension dans l'air, se fait par la méthode de filtration où les particules contenues dans un volume d'air sont aspirées par une pompe et traversant un filtre avec des mailles suffisamment petites, pouvant arrêter les molécules les plus fines et piégées par ce filtre.

Quelque soit le mode de prélèvement utilisé, le rendement granulométrique des particules en suspension est proche de 100% que pour les particules avec un diamètre supérieurs à  $3\ \mu\text{m}$  soit captées. Au-delà de cette dimension, l'efficacité de la collecte est influencée aussi bien par les conditions météorologiques, en particulier la vitesse du vent, par les conditions de prélèvement telles que le débit d'aspiration, la position et les conditions du dispositif de captage.

Donc, l'efficacité globale de l'échantillonnage est liée :

- A la géométrie de l'appareil.
- A la vitesse du vent.
- Au débit de la pompe employée.

### 1.2. Choix du site d'étude

Le choix d'un site d'étude est en fonction du type de pollution atmosphérique à surveiller et du risque encouru d'une exposition des êtres humains à des niveaux variables d'une pollution.

Tant que c'est la santé humaine qui est mise en jeu, l'installation de stations de surveillance de la qualité de l'air au niveau des centres urbains à densité importante est plus que nécessaire.

### 1.3. Débit d'échantillonnage

Le débit d'échantillonnage ou de prélèvement peut varier de un mètre cube ( $1\text{m}^3$ ) par heure (Low Volume Sampler ; LVS) pour des filtres à faible porosité, à une dizaine de mètres cubes par heure (High Volume sampler) pour des filtres à forte résistance et grande porosité (IMACHMACHINE R., 2007).

Le tableau suivant nous renseigne des avantages et inconvénients liés à l'utilisation de préleveurs de type LVS et de type HVS (BOULABROUAT F.ZOHRA, 2007).



**Tableau 5 :** Avantages et inconvénients liés à l'utilisation de préleveurs de type LVS et de type HVS.

<b>Type de préleveur</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>LVS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La taille des filtres est petite</li> <li>-facilité de conservation et d'analyse...</li> <li>-la durée de prélèvement est courte.</li> <li>-la disponibilité des filtres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La masse des particules collectées est plus faible que HVS</li> </ul>
<b>HVS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masse importante de particules collectées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La durée de prélèvement est longue (risque de colmatage)</li> <li>-difficulté de stockage et d'analyse.</li> </ul>

#### 1.4. Prélèvements des particules totales en suspension (TSP) dans l'air

L'objectif de surveillance de la qualité de l'air étant notamment d'apprécier le risque individuel d'exposition des êtres humains à des niveaux élevés de pollution. Il est nécessaire de choisir des stations de prélèvement représentatives quant aux risques liés à une telle pollution, on distingue essentiellement :

- Station rurale et périurbaine.
- Station de proximité.
- Station spécifique.

Un prélèvement représentatif est fonction de gestion de trois contraintes, à savoir, le débit de prélèvement, la durée et la nature du filtre utilisé.

#### 1.5. Les filtres et les membranes de rétention

Le choix des filtres pour la collecte des TSP doit remplir les trois conditions suivantes :

- Une efficacité de collection d'au moins 99% pour les particules de diamètre égal ou supérieur à 0,3µm ( $d = 0,3\mu\text{m}$ ).
- Une hydroscopicité faible.
- Un taux d'impureté aussi faible que possible en éléments métalliques pour éviter les interférences lors de l'analyse quantitative des particules collectées sur le filtre (OIKAWA K., 1999).

Les filtres utilisés dans la collection des particules en suspension dans l'air ont un rôle important et le diamètre de leurs pores varie de 0,01 à 10  $\mu\text{m}$ . Ces filtres doivent remplir deux conditions essentielles

- Une efficacité de collection d'au moins 99% pour les particules d'un diamètre supérieur à 0,3  $\mu\text{m}$ .
- Une hygroscopicité faible.

On emploie divers types de filtres dont l'efficacité diffère suivant leur nature et leur texture. Le choix du filtre est effectué en fonction des composés à analyser. Les filtres les plus couramment utilisés sont :

#### 1.5.1. Les filtres en fibre de verre

Ils ont une efficacité de collection de 99,9% pour les particules de diamètre supérieur à 0,3 $\mu\text{m}$ . La dimension de leurs pores varie de 0,1 à 4  $\mu\text{m}$ . L'inconvénient majeur de ces filtres provient du fait qu'ils contiennent divers éléments métalliques à des teneurs variables. Les éléments les plus gênants sont le fer et zinc.

#### 1.5.2. Les filtres membranaires

Ce sont des filtres nitrocellulose, acétate et ester de cellulose qui sont solubles dans les éthers et les alcools. Ils ont une grande efficacité et même les particules très fines peuvent être collectées.

Les filtres membranaires les plus utilisés pour la collecte des particules en suspension dans l'air sont ceux présentant des pores de 0,8  $\mu\text{m}$ .

Leur seul inconvénient c'est qu'ils présentent une forte résistance à l'écoulement de façon qu'il soit impossible de les utiliser pour les prélèvements à forts débits (HVS).

Le tableau suivant montre les propriétés et les caractéristiques de chaque type de filtre ainsi que leurs efficacités (HINDS W C., 1982).

**Tableau 6 : Propriétés et les caractéristiques des différents types des filtres ainsi que leurs efficacités.**

<b>Filtre</b>	<b>Type</b>	<b>Matériel</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b>Porosité (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Résistance au colmatage</b>	<b>Efficacité (%)</b>
<b>Whatman4</b>	Fibre	Cellulose	0,19	3 à 20	0,35	72
<b>Microsorban</b>	Fibre	Polystyrène	1,50	0,70	0,04	99,50
<b>MSA1106B</b>	Fibre	Verre	0,23	0,1 à 4	0,10	99,93
<b>Millopore AA</b>	Membrane	Ester cellulose	0,15	0,80	0,19	99,98

Il apparaît bien que le filtre (AA) de type membrane, de nature ester de cellulose présente une efficacité très proche de 100%, suivi de type fibre de polystyrène (99,50%), en suite le type fibre de verre (99,93%). Par contre la résistance au colmatage revient aux filtres de type fibre de cellulose, cette résistance est expliquée par la grande porosité (3 à 20  $\mu\text{m}$ ) qu'il acquière.

## 1.6. Mode de prélèvement

### 1.6.1. Prélèvement sans coupure granulométrique

Toutes les particules en suspension sont captées (jusqu'à 30  $\mu\text{m}$  ou plus), le tableau (Tableau7) montre trois types de prélèvement sans coupure.

**Tableau 7 :** Types de prélèvement sans coupure granulométrique. (COURIEUX F. P. et Al, 1990)

<b>Prélèvement sur filtre à moyen débit.</b>	<b>Prélèvement sur filtre à très fort débit.</b>	<b>Prélèvement des fumées noires</b>
<p><b>-La vitesse de prélèvement est de l'ordre de (1,5 M<sup>3</sup>/S pendant une durée de 24 heures (LVS).</b></p> <p><b>-La nature des filtres utilisés sont en fibre de verre ou membranes de diamètre 47mm.</b></p> <p><b>-Les particules collectées sont de taille de 0,30 à 30um, et une efficacité moindre pour les PM10 par rapport au PM 2,5.</b></p>	<p><b>-Les préleveurs utilisés sont de type HVS avec un débit de 60 à 100 M<sup>3</sup>/S pour une durée de 24h.</b></p> <p><b>-Collecte des particules de taille plus importante.</b></p> <p><b>-Une efficacité pour les PM10, elle est de l'ordre de 25 à 40% pour les particules de 30um.</b></p>	<p><b>-Ce prélèvement ce fait à une vitesse de l'ordre de 1 Cm/S pour une durée de 24h.</b></p> <p><b>-Utilisé pour la collecte des particules issues de la combustion dont le diamètre sont inférieur à 10um.</b></p> <p><b>-Une efficacité significative pour les particules de taille inférieure à 5um.</b></p>

### 1.6.2 Prélèvement avec coupure granulométrique

Le dispositif est équipé d'une tête qui permet de collecter les particules dont le diamètre est inférieur à une valeur fixe. L'appareil le plus connu de nos jours est le HVS-PM10 de la firme américaine Andersen, c'est un appareil équipé d'une tête sélective pour la collection des particules de diamètre inférieur ou égal à 10um (d = 10um) (RABAI Y. et BOURAHLA M., 2006).

### 1.6.3. Prélèvement avec fractionnement granulométrique

Ce prélèvement est effectué à bas ou à haut débit et la collecte des particules se fait par impaction ; lorsqu'un jet d'air est soufflé perpendiculairement à une plaque, les particules en suspension se déposent sur la plaque sous l'effet de leurs inerties, tandis que les filets d'air sont divisés (LE BOUFFANT L., 1988).

Le dispositif le plus utilisé est l'impaction en cascade, qui se compose d'une série d'étages d'impactions (2 à 9, selon le nombre de fraction que l'on désire avoir), constitués d'un orifice perpendiculaire à une surface plane (RABAI Y. et BOURAHLA M., 2006).

## 2. Méthode d'analyse des polluants atmosphériques

### 2.1 Présentation générale des méthodes d'analyse

La diversité des substances qui peuvent constituer les particules en suspension dans l'air, rend difficile leur mise en évidence. Cependant avec le développement technologique, plusieurs méthodes plus au moins développées permettent de déterminer certains constituants ainsi que leur concentration. (Chaboun et al., 2007). Le tableau 8 donne les différentes méthodes d'analyse de chaque polluant :

**Tableau 1:** Les méthodes d'analyse de polluants.[7]

<b>Polluants</b>	<b>Méthode d'analyse</b>
<b>Composante acide</b>	- La chromatographie ionique - La spectrométrie UV visible
<b>Composante organique contenant les HAP</b>	- La chromatographie liquide haute performance (CLHP) - La chromatographie en phase gazeuse (CPG)
<b>Eléments métalliques</b>	- La chromatographie d'absorption atomique (SAA) - L'analyse par activation neutronique (NAA) - La spectrométrie de fluorescence X (XRF) - L'analyse par rayons X induits par particules chargées (PIXE)
<b>Carbone élémentaire et carbone organique</b>	- La combustion à différentes températures sous forme de CO <sub>2</sub>

Comme notre travail consiste à étudier la pollution de l'air par les éléments de trace métallique, on va définir quelques méthodes d'analyse de ces derniers.

## 2.2. Méthodes d'analyse des éléments traces métalliques

### 2.2.1. La spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

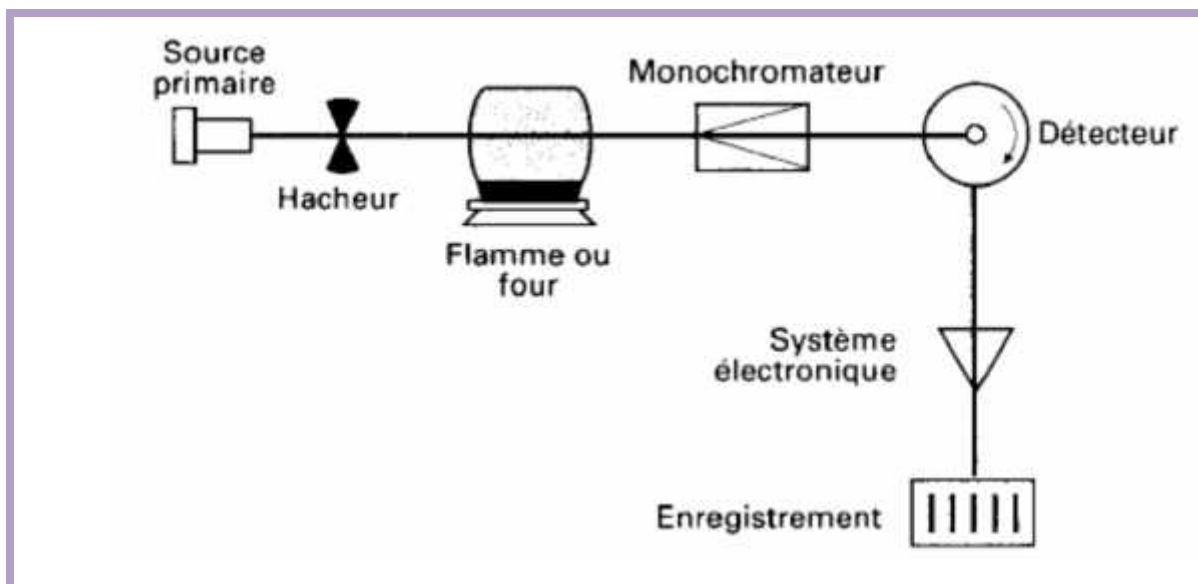
La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) étudie les émissions ou absorptions de lumière par l'atome libre, c'est-à-dire lorsque celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. Ça sera le cas si les énergies mises en jeu sont modérées. Cette méthode est utilisée pour l'analyse des métaux dans les échantillons biologiques, métallurgiques, pharmaceutiques et atmosphériques (Matteini et al. 1991).

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est basée sur le principe suivant :

L'absorption des radiations électromagnétiques des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres résulte d'un changement dans la structure électronique. L'absorption de chaque élément est spécifique et permet de le déterminer. L'appareil qui permet de mettre en évidence est un spectrophotomètre qui donne l'absorbance de l'élément dosé.

Après la calibration de l'instrument avec des standards de concentrations connues, les mesures des concentrations des éléments sont déterminées par une droite d'étalonnage.

Dans le cas où les échantillons sont liquides ou solides, les atomes ou les ions doivent être vaporisés dans une flamme ou dans un four graphite.



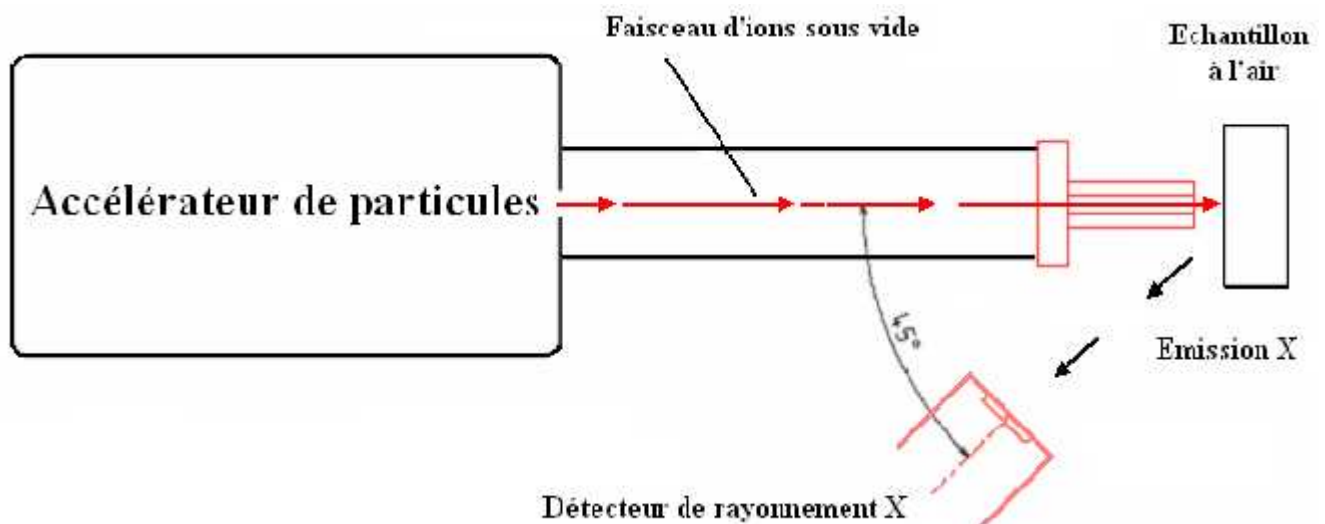
**Figure 1** : Schéma de base d'un appareil de Spectrométrie d'absorption atomique.

### 2.2.2. L'analyse par rayons X (PIXE)

Le principe de la PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*) est lié à l'atome et son cortège d'électrons. Le scénario se décompose en 3 phases (Chassot, 2004) :

- En pénétrant dans l'échantillon à analyser, une particule du faisceau éjecte un électron proche du noyau d'un atome qui sera excité.

- Ce dernier ne reste pas dans l'état excité, un électron d'une orbite supérieure viendra combler le vide laissé lors de l'excitation.
- Lors de ce réarrangement, l'atome émet un rayon X caractéristique pour libérer son excès d'énergie. Chaque élément chimique possède un rayon X caractéristique. Une fois ce dernier détecté, la reconnaissance des éléments contenus dans l'échantillon est possible.



**Figure 2:** Schéma illustrant le principe de la PIXE

### 2.2.3. La spectrométrie par fluorescence X (XRF : X-Ray Fluorescence)

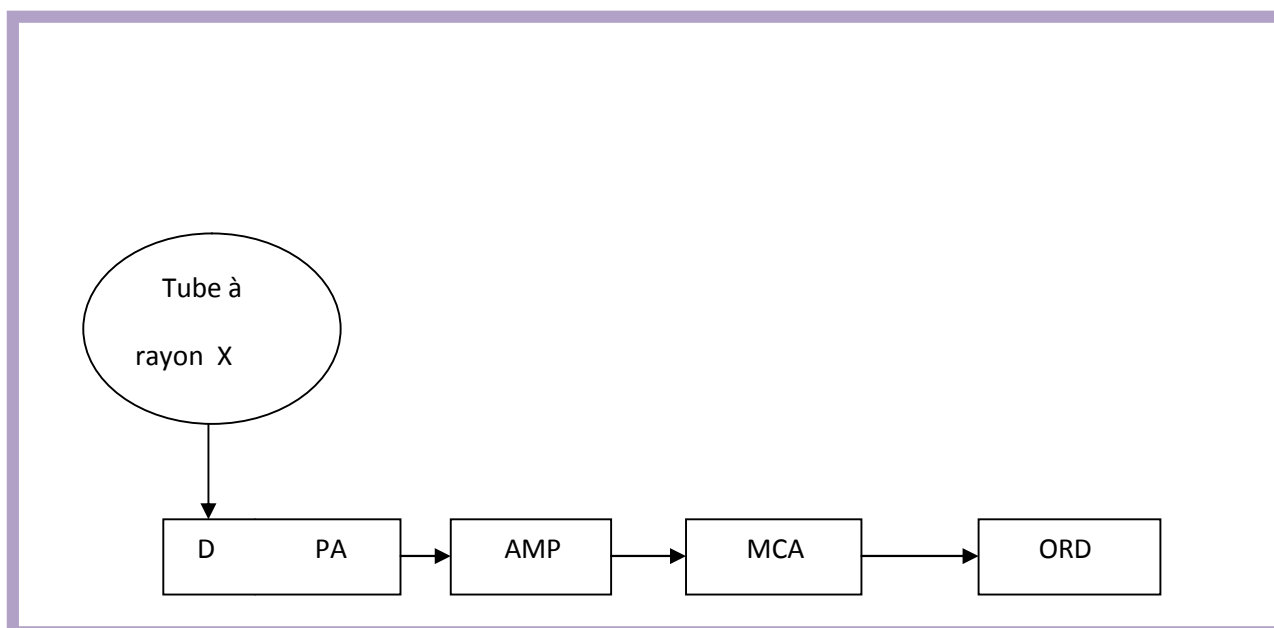
Les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques pénétrants dont la longueur d'onde est dix mille fois plus petite que celle de la lumière. Ils ont été découverts par hasard en 1895 par Wilhelm RÖNTGEN.

La spectrométrie par fluorescence X permet l'analyse qualitative et quantitative des éléments dont les numéros atomiques (Z) sont supérieurs ou égaux à 13. Elle est utilisée dans de nombreux domaines tels que l'environnement, la géologie, la minéralogie et la biologie.

#### ➤ Principe

L'échantillon est bombardé par un rayonnement X issu d'une source radioactive. Ainsi l'atome devient excité, ce qui générera un déplacement de l'électron vers l'orbite supérieure. La case quantique laissée vide par l'électron éjecté sera prise par un électron

d'un niveau plus élevé avec une énergie supérieure à celle de l'électron éjecté. (*Kalnicky et al., 2001*). La différence d'énergie ( $\Delta E$ ) des deux électrons est alors émise sous forme de rayon X caractéristique de cet atome. Et ainsi on peut déterminer la nature de l'élément irradié. (*Loupilov et al., 2001*).



D : détecteur      AMP : amplificateur      PA : préamplificateur

MCA : analyseur multi canal      ORD : ordinateur

**Figure 3:** Schéma du spectromètre de fluorescence X (XRF).

### 3. Méthode d'analyse des polluants atmosphériques par Activation Neutronique (AAN)

#### 3.1. Principe de la méthode d'Analyse par Activation Neutronique (AAN)

L'analyse par activation est une **méthode d'analyse exclusivement élémentaire**. Sa mise en œuvre consiste à irradier l'échantillon à analyser dans un flux de particules appropriées, neutrons, particules chargées... et à identifier, ensuite, après irradiation, les isotopes radioactifs créés à partir des éléments à doser. Par son principe même, la méthode est unique parmi les méthodes d'analyses : l'excitation concerne le noyau de l'atome et les mesures portent sur les isotopes radioactifs artificiels ainsi créés. Il en résulte un certain nombre d'avantages : l'analyse est non seulement multiélémentaire et très sensible (limite de détection pouvant atteindre  $10^{-12}$  g et moins quelquefois) mais de plus sa réponse est indépendante de la forme chimique de l'élément. La masse de l'échantillon peut varier de quelques milligrammes à plusieurs grammes, et sa préparation est en général très simple.

La plupart des risques d'erreur (pertes et pollutions), qui guettent les méthodes classiques, peuvent être évités ou à défaut contrôlés. Après irradiation, un décapage permet de s'affranchir des pollutions de surface et les contaminations, introduites lors des séparations chimiques éventuelles, ne peuvent ni fausser les résultats, ni dégrader les limites de détection. Les mesures de radioactivité permettent d'identifier de façon très sélective



chacun des atomes présents et d'en quantifier le nombre. L'étalonnage est généralement obtenu à partir soit de l'élément lui-même, soit d'un moniteur de flux, irradiés simultanément ou dans des conditions comparables. Pour le dosage des traces, cette méthode est l'une des rares à atteindre couramment et de façon sûre, ses limites théoriques de détection.

Enfin, elle peut se prêter à des analyses in situ avec des appareils d'irradiation portables et dans certains cas l'analyse de la répartition des éléments en profondeur est possible.

Par contre, la mise en œuvre de l'analyse par activation nécessite, dans la majorité des cas, des moyens lourds pour l'irradiation et la manipulation de substances radioactives. De plus, ses temps de réponse sont tributaires de la période de décroissance des radio-isotopes utilisés et peuvent atteindre plusieurs jours.

La méthode s'applique sans modification majeure à de très nombreux matériaux (métaux, semi-conducteurs, échantillons archéologiques, biologiques, géologiques...) dont la forme et la masse peuvent varier dans une large mesure. Il en va de même pour les quantités dosées qui peuvent varier du picogramme au gramme, et quelquefois même au kilogramme avec en général une précision de l'ordre de quelques pour-cent, quelle que soit la teneur, sauf au voisinage de la limite de détection.

Actuellement la méthode est surtout utilisée comme **méthode d'analyse de traces et d'ultratraces**, soit en tant que telle, soit pour calibrer et vérifier les résultats obtenus par d'autres méthodes, en général plus accessibles et plus rapides mais qui n'ont pas toujours la fiabilité de l'analyse par activation. La possibilité de doser simultanément, sur un même échantillon, un grand nombre d'éléments présents dans des domaines de concentration très différents, en fait aussi une méthode de choix pour des études de provenance ou de mécanisme.

### Principes généraux

#### ➤ But de l'irradiation et différents modes

Le but de l'irradiation est de créer des radio-isotopes qui pourront être identifiés avec certitude et quantifiés avec précision après irradiation. *Aussi, ces radio-isotopes doivent avoir une probabilité non négligeable d'être produits à partir des éléments à doser et leur durée de vie devra être suffisamment longue pour permettre leur détection. Pour doser la totalité des éléments, il est nécessaire de faire appel à plusieurs modes d'irradiation.*

#### ➤ Préparation de l'échantillon

La forme géométrique de l'échantillon importe peu. En effet, les neutrons, à cause de leur charge nulle, ont un grand pouvoir de pénétration dans la matière, sauf pour quelques éléments (bore, cadmium...) qui ont une très forte section efficace de capture neutro-nique (plusieurs milliers de barns). Théoriquement, il est possible d'appliquer la méthode aux solides, aux liquides et aux gaz. En fait, sauf exception, à cause des phénomènes de radiolyse

et des risques de contamination, les échantillons sont irradiés sous forme solide, enveloppés par exemple dans du papier d'aluminium ou placés dans un tube scellé en silice. Ces deux matériaux peuvent être obtenus très purs et ils conduisent à des radio-isotopes dont la radioactivité décroît rapidement après irradiation. Les masses irradiées peuvent varier de quelques milligrammes à quelques grammes et même beaucoup plus si le dispositif prévu pour l'irradiation le permet. Dans la majorité des cas, le ou les échantillons avec le ou les étalons, ou encore le ou les moniteurs de flux, sont placés dans une navette fermée, adaptée au dispositif de transfert. Cette navette peut être en matière plastique pour les irradiations courtes (moins d'une heure à  $10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), en graphite ou en aluminium pour les irradiations plus longues.

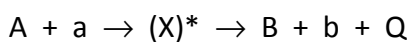
➤ *Irradiation de l'échantillon*

Le choix du site d'irradiation dépend de la réaction utilisée ; le réacteur dispose de deux sites d'irradiation par voie pneumatique pour les courtes périodes, l'un dans le cœur du réacteur et l'autre dans la colonne thermique, et deux sites d'irradiation dans le cœur pour les longues périodes.

- Principe

Le but de l'irradiation est de créer des radio-isotopes qui pourront être identifiés avec certitude et quantifiés avec précision après irradiation. Aussi, ces radio-isotopes doivent avoir une probabilité non négligeable d'être produits à partir des éléments à doser et leur durée de vie devra être suffisamment longue pour permettre leur détection. Pour doser la totalité des éléments, il est nécessaire de faire appel à plusieurs modes d'irradiation. Dans la pratique, le choix sera fait en fonction des propriétés des radio-isotopes créés dans l'échantillon à partir du ou des éléments à doser et des autres éléments présents. (*Capannesi et al., 1978*) , (*Bruno et al., 1980*)

L'analyse nucléaire est basée principalement sur les réactions nucléaires. Une réaction nucléaire peut être décrite par :



Où :

a = particule incident au rayonnement

A = noyau cible

(X) = noyau composé à l'état intermédiaire sous excitation élevée

B = noyau radioactif

b = particule émise au rayonnement

$Q$  = l'énergie de réaction [la quantité d'énergie dégagée ou absorbée durant la réaction]

Lorsqu'une interaction se produit plusieurs événements peuvent se produire :

- La diffusion de la particule incidente avec possibilité de transfert de l'énergie au noyau cible.
- Excitation temporaire du noyau suivie d'une désexcitation instantanée de l'ordre de  $10^{-14}$  s à travers l'émission de particules subatomiques et de rayonnements  $\beta$  et/ou  $\gamma$ .
- Excitation temporaire suivie d'une désexcitation instantanée et d'une transformation du noyau cible en d'autres noyaux avec un nombre de particules subatomiques différents.
- Pour beaucoup de cas, le noyau transformé subira une désexcitation  $\gamma$  caractéristique retardée en émettant des particules nucléaires ou des rayonnements  $\beta$  et/ou  $\gamma$ .

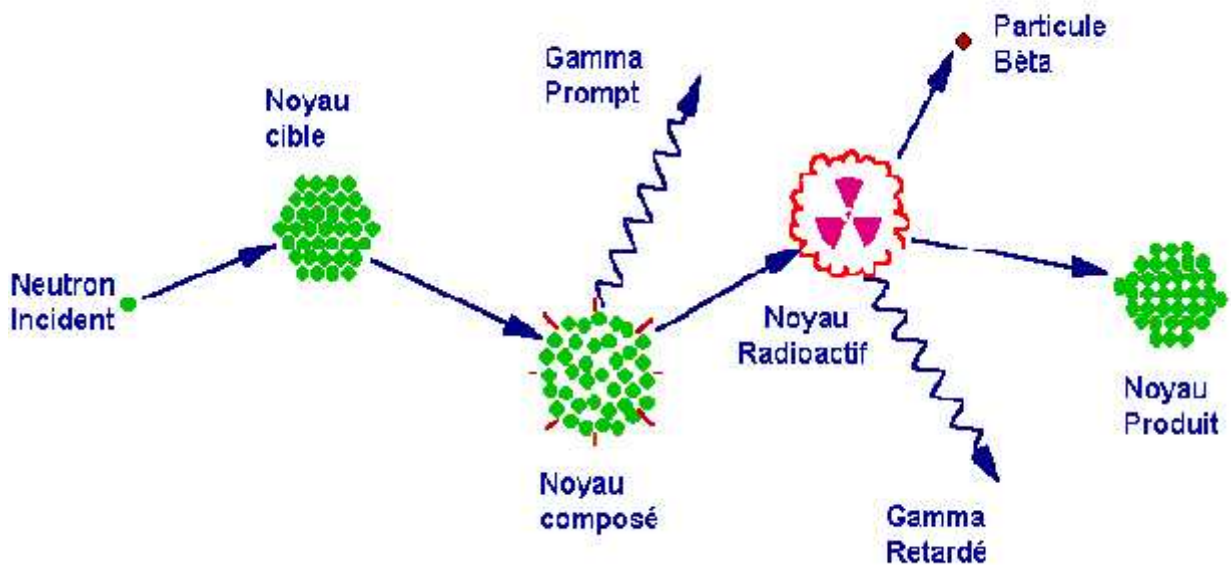
Le résultat d'une irradiation comporte deux phases distinctes durant lesquelles se produit l'émission des particules et celles des rayonnements  $\beta$  et/ou  $\gamma$ .

La première phase se produit durant l'interaction nucléaire et la seconde se produit après l'interaction nucléaire.

Les deux phases offrent des possibilités d'utilisation en analyse.

En principe, toutes les méthodes nucléaires d'analyses se rejoignent en deux types de techniques d'analyse dépendant de la phase prise en considération dans le processus d'analyse :

- prompt analysis : la mesure des radiations se fait pendant l'interaction
- delayed analysis : la mesure des radiations se fait pendant la désintégration



**Figure 4:** Diagramme illustrant le processus de la capture neutronique par un noyau cible suivi d'une émission de rayons gamma.

### 3.2. Equation fondamentale de l'AAN et méthode de calcul

Soit un échantillon de masse  $m$ , de section efficace microscopique d'activation  $\sigma_a$ , de constante de décroissance radioactive  $\lambda$  et de masse atomique  $A$ , irradié par un flux neutronique  $\phi$ , la variation de nombre d'atomes radioactif formés pendant l'irradiation est donné par l'expression (De Soete et al, 1972) :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{N\phi\sigma_a}{A} - \lambda n \quad (1)$$

Ou:

$n$  : nombre d'atomes radioactifs formés à l'instant

$N$  : nombre d'Avogadro :  $6.02 \cdot 10^{23}$

$\sigma_a$  : Abondance de l'isotope

$m$  : masse de l'élément d'intérêt dans l'échantillon

$\lambda$  : constante de décroissance radioactive de l'isotope radioactif formé

( $\lambda = \ln 2 / T$ )

$T$  : demi-vie de l'isotope radioactif formé

$\sigma_a$  : section efficace microscopique de capture de l'élément cible

Le nombre d'atomes radioactifs formés à la fin de l'irradiation sera :

$$n = \frac{N \sigma_a \phi_{n, \infty}}{A_j} \{ (1 - e^{-\lambda t_i}) \} \quad (2)$$

$t_i$  étant la durée d'irradiation et  $\phi$  le flux de neutrons par unité de surface

L'activité de l'échantillon à la fin de l'irradiation sera :

$$A = \lambda n = \frac{N \sigma_a \phi_{n, \infty}}{A} \{ (1 - e^{-\lambda t_i}) \} \quad (3)$$

$$A = A_s (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (4)$$

Le terme  $A_s = \frac{N \sigma_a \phi_{n, \infty}}{A}$  est l'activité à saturation, celle que prendrait l'échantillon pour un temps d'irradiation infini.

Si  $t_d$  représente la durée de décroissance entre la fin de l'irradiation et le début du comptage, l'activité de l'échantillon au début du comptage sera :

$$A = \lambda n = \frac{N \sigma_a \phi_{n, \infty}}{A} \{ (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} \} \quad (5)$$

Si  $t_c$  représente la durée du comptage et  $\epsilon$  l'efficacité de la chaîne de mesure, le nombre de coups compté sera :

$$A_N = v \lambda \int_0^{t_c} \frac{N \sigma_a \phi_{n, \infty}}{A} \phi (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} e^{-\lambda t} dt \quad (6)$$

$$A_N = v \lambda \frac{N \sigma_a \phi_{n, \infty}}{A} \{ (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda} \} \quad (7)$$

Où :

$v$  : efficacité de la chaîne de comptage pour le pic gamma d'énergie totale

$\phi$  : intensité des gammas émis

En posant :

$S = 1 - e^{-\lambda t_i}$  Facteur de saturation

$D = e^{-\lambda t_d}$  Facteur de décroissance

$C = \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda}$  Facteur de décroissance durant le comptage

La masse de l'élément recherché est donnée par :

$$m = \frac{1}{SDC} \frac{A}{N \sigma_{a, vx}} \frac{AN}{\epsilon} \quad (8)$$

Remarque

La sensibilité relative de détection pour une variété d'éléments dépend de leurs propriétés nucléaires telles que :

- Section efficace de réactions des neutrons
- Demi-vie  $t_{1/2}$  du radionucléide
- Poids atomique et fraction d'abondance des isotopes (père) de l'élément
- Le schéma de décroissance du radionucléide

### 3.3. Détermination de la concentration des éléments dans un échantillon inconnu

La concentration de l'élément d'intérêt est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$C_{ie} = \frac{m_{elm}}{V} \quad (9)$$

Où :

$C_{ie}$  : la concentration de l'élément d'intérêt dans l'échantillon

$m_{elm}$  : la masse calculée de l'élément dans l'échantillon

$V$  : le volume d'air aspiré.

Le dosage des éléments dans un échantillon par la technique AAN peut se faire soit par la voie absolue soit par la voie relative.

#### ➤ Voie relative

La méthode relative est généralement simple et rapide.

Son principe consiste à l'irradiation de l'échantillon et le standard dans les mêmes conditions pour que le terme  $\frac{1}{SDC} \frac{A}{N \sigma_{a, vx}} \frac{1}{\epsilon}$  soit identique pour l'échantillon et le standard ; on pourra alors écrire :

$$\frac{m_{ie}}{m_{is}} = \frac{D_s C_s A_{Ne}}{D_e C_e A_{Ns}} \quad (10)$$

Où :

$m_{ie}$  : masse de l'élément i dans l'échantillon

$m_{is}$  : masse de l'élément i dans le standard

$D_e$  : facteur de décroissance de l'échantillon (temps de décroissance  $t_{de}$ )

$D_s$  : facteur de décroissance du standard (temps de décroissance  $t_{ds}$ )

$C_e$  : facteur de comptage de l'échantillon (temps de comptage  $t_{ce}$ )

$C_s$  : facteur de comptage du standard (temps de comptage  $t_{cs}$ )

$A_{Ne}$  : surface nette du pic de l'échantillon

$A_{Ns}$  : surface nette du pic du standard

$$n_{ie} = \frac{D_s C_s A_{Ne}}{D_e C_e A_{Ns}} n_{is} \quad (11)$$

Dans la méthode comparative que nous avons utilisée, le facteur de comptage de l'échantillon  $C_e$  et le facteur de comptage du standard  $C_s$  se simplifient car le temps de comptage des échantillons et des standards sont les mêmes.

En termes d'intensités, on détermine la masse des éléments contenus dans l'échantillon par comparaison avec la masse connue des éléments dans le standard selon l'expression suivante :

$$m_{ie} = m_{is} \left( \frac{I_{ech} * e^{\lambda t_{dech}}}{I_{st} * e^{\lambda t_{dst}}} \right) \quad (12)$$

$m_{ie}$  : masse de l'élément i à doser dans l'échantillon.

$m_{is}$  : masse de l'élément i à doser dans le standard.

$I_{ech}$  : l'intensité de l'élément à doser dans l'échantillon.

$I_{st}$  : l'intensité de l'élément à doser dans le standard.

$\lambda$  : constante radioactive de l'élément à doser.

$td$  : temps de décroissance.

La masse  $m_{ie}$  ( $\mu\text{g}$ ) d'un élément i dans le standard est donnée par la formule suivante :

$$m_{is} = m_s * C_{is} \quad (13)$$

$m_s$  : masse du standard préparé ou pesé en (g).

$C_{is}$  : concentration de l'élément dans le standard en ( $\mu\text{g/g}$ ).

Dans le cas où l'élément considéré se retrouve au niveau des blancs utilisés, alors la formule sera corrigée et devient :

$$m_{ie} = m_{is} \frac{(I_{ech} * e^{\lambda t_{dech}} - I_{blf} * e^{\lambda t_{dblef}})}{(I_{st} * e^{\lambda t_{dst}} - I_{bla} * e^{\lambda t_{dsblat}})} \quad (14)$$

$m_{ie}$  : masse de l'élément i à doser dans l'échantillon.

$m_{is}$  : masse de l'élément i à doser dans le standard.

$I_{ech}$  : l'intensité de l'élément à doser dans l'échantillon.

$I_{bif}$  : l'intensité de l'élément à doser dans le blanc filtre.

$I_{bla}$  : l'intensité de l'élément à doser dans le blanc aluminium.

$I_{st}$  : l'intensité de l'élément à doser dans le standard.

$\lambda$  : constante radioactive.

$I_{bif}$  : l'intensité de l'élément à doser dans le blanc filtre.

$I_{bla}$  : l'intensité de l'élément à doser dans le blanc aluminium.

$td$  : temps de décroissance.

$td_{ech}$  : temps de décroissance de l'échantillon.

$td_{st}$  : temps de décroissance du standard.

$td_{bif}$  : temps de décroissance blanc filtre.

$td_{sba}$  : temps de décroissance du blanc aluminium.

#### ➤ Voie absolue

Cette méthode consiste à calculer la masse des éléments présents dans l'échantillon et absents dans le standard. Par cette méthode l'activité peut être déterminée si on connaît le flux, la section efficace de capture, l'efficacité du détecteur, etc. La précision sur cette activité est liée aussi à la détermination de ces paramètres qui ne sont pas connus avec précision.

La formule de calcul de la masse est la suivante :

$$m_{ie} = \frac{I \cdot M \cdot \lambda}{Na \cdot \theta \cdot \Phi \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot \sigma (1 - e^{-\lambda t_i}) \cdot e^{-\lambda t_d} \cdot (1 - e^{-\lambda t_c})} \quad (15)$$

Où :

$m_{ie}$  : la masse de l'élément à doser dans l'échantillon.

$Na$  : nombre d'Avogadro =  $6,023 \cdot 10^{23}$

$M$  : la masse molaire de l'élément.

$\lambda$  : constante radioactive ( $\lambda = \ln 2 / T$ ) où  $T$  = période de l'élément).

$\theta$  : l'abondance isotopique.

$\phi$  : flux neutronique ( $\phi = 10^{13}$  neutrons /  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ).

$\gamma$  : rapport d'embranchement.

$\sigma$  : section efficace.



$\epsilon$  : l'efficacité du détecteur.

$t_i$  : temps d'irradiation.

$t_d$  : temps de décroissance.

$t_c$  : temps de comptage.

$I$  : intensité du pic.

### 3.4. Avantages et inconvénients de la NAA

#### ➤ **Inconvénients :**

La NAA présente toute fois les inconvénients suivants :

- Dans certains cas l'indisponibilité des standards adaptés ;
- Impossibilité de déterminer la limite de détection sans présence de standard préalablement préparé concernant la méthode relative;
- L'effet de l'auto absorption des neutrons dans l'échantillon et le standard.
- L'inconvénient majeur de cette méthode par activation neutronique est la nécessité d'une installation onéreuse qui est un Réacteur nucléaire.
- Un autre inconvénient lié aux méthodes nucléaires, est la génération de déchets radioactifs, ce qui risque de poser un problème de radioprotection et gestion de déchets radioactifs.

#### ➤ **Avantages :**

Cette technique occupe une place très particulière parmi les méthodes analytiques pour plusieurs points de vue.

- par son incomparable sensibilité pour le dosage d'éléments de très faibles concentrations.
- Pour la plupart des techniques analytiques physico-chimiques la variation de sensibilité d'un élément à l'autre est relativement peu importante (*Innocenzio et al., 1998*), (*Ziemacki et al., 2003*)

En général les éléments abondants sont faciles à doser, et les limites de détection empêchent essentiellement le dosage des éléments peu abondants. La capture neutronique est le schéma le plus important pour rendre compte de la nucléo genèse, processus qui a permis la formation des planètes du système solaire, composées d'éléments lourds, de  $Z$  élevé, alors que le soleil dont elles sont issues est constitué d'éléments très légers.

- C'est une des rares techniques qui permet le dosage d'une large gamme d'éléments.

Dans une autre technique, à supposer qu'un élément aussi peu abondant soit détecté, le signal de l'élément abondant couvrirait celui de l'élément faible jusqu'à le rendre indécélable.

Hormis l'abondance naturelle, certains éléments peuvent être plus ou moins faciles à doser suivant le schéma de désexcitation des niveaux du noyau descendant. Le phosphore, par exemple, ne peut être dosé par cette méthode : exceptionnellement le noyau-fils est directement produit à son état fondamental par la radioactivité  $\beta$ . Elle n'est donc pas suivie d'émission  $\gamma$ . Le plomb ne donne qu'un radioélément de période trop courte pour être mesuré pratiquement.

- c'est la seule méthode non-destructive qui permet une analyse de l'ensemble du volume d'un échantillon. (*Djingova et al., 1991*), (*Moauro et al., 1991*)

Ceci se comprend facilement : les neutrons ne sont pas arrêtés par les barrières de potentiel atomiques qui arrêtent les particules chargées très près de la surface d'un matériau. Après capture, les rayons  $\gamma$  qui sont des ondes électromagnétiques, en général de haute énergie, sont aussi très pénétrants. A l'aller des neutrons comme au retour des rayons gamma vers le détecteur, l'absorption reste marginale; elle est d'ailleurs prise en compte par de petites corrections linéaires.

Les spectres enregistrés avec leurs paramètres d'accompagnement sont traités par un programme qui donne les teneurs dans les éléments détectés.

### 3.5. Domaines d'application de la NAA

#### ■ **Métallurgie**

Pour la préparation et l'étude des propriétés des métaux de haute pureté et dans l'industrie des semi-conducteurs pour caractériser la pureté chimique du silicium, elle est sans rivale. Cette caractérisation peut être faite de façon non destructive.

#### ■ **Géochimie**

Il est possible de doser une vingtaine d'éléments traces en présence des éléments majeurs, souvent de façon non destructive, en irradiant les échantillons dans les neutrons épithermiques. Parmi les éléments traces, la détermination précise des éléments hygromagmaphiles sert à connaître les propriétés du manteau terrestre et à décrypter les processus géochimiques qui ont accompagné son évolution. L'analyse par activation neutronique est aussi utilisée pour la prospection minière car elle permet de déterminer très rapidement, avec une précision suffisante, la teneur de certains éléments, l'or entre autres, dans les minerais.

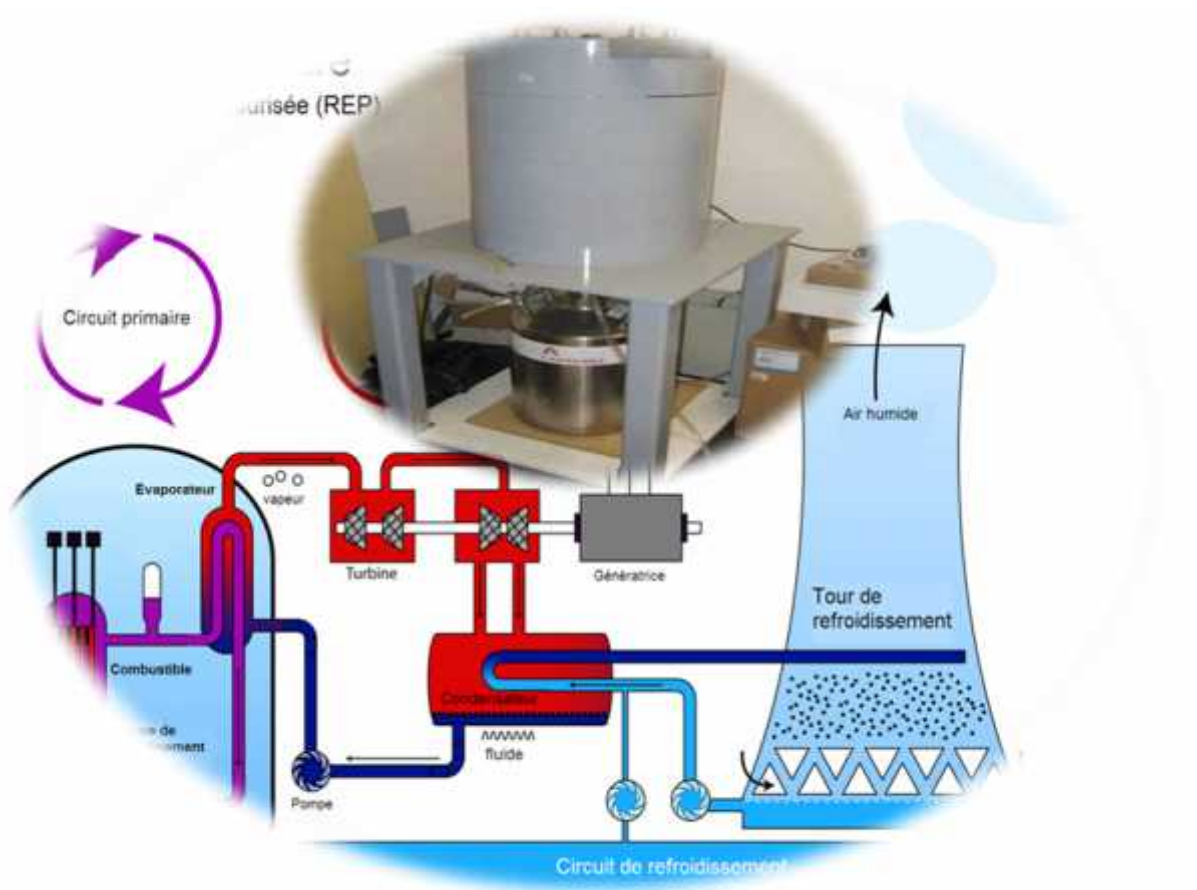
**■ Archéologie**

Associée à une méthode de traitement statistique des résultats, elle permet de retrouver la chronologie ou la provenance des objets de façon souvent très sûre. La méthode est particulièrement bien adaptée aux céramiques, aux verres et aux marbres. Néanmoins, il est possible de déterminer les teneurs de 12 éléments à 4 % près par INAA dans des monnaies en argent. Ces études nécessitent un grand nombre de résultats d'analyse, c'est la raison pour laquelle les méthodes purement instrumentales sont privilégiées pour leur simplicité et leur rapidité de mise en œuvre.

**■ Environnement**

L'analyse par activation est utilisée pour le dosage des poussières atmosphériques retenues par des filtres, sur les mousses ou les lichens. Pour l'analyse des filtres, elle est en compétition avec les méthodes de fluorescence X et de PIXE, mais la NAA présente l'avantage d'avoir une sensibilité supérieure. Pour l'analyse de l'eau, l'activation neutronique est désavantagée par le phénomène de radiolyse qui interdit pratiquement de faire les analyses sur les échantillons à l'état liquide. Aussi, pour les analyses de routine l'ICP-MS paraît mieux adaptée car beaucoup plus rapide à mettre en œuvre.

# *Partie II*



# *Méthodologie expérimentale*

## Objectif

Notre contribution par ce travail est d'étudier la pollution de l'air par les métaux lourds contenus dans les aérosols prélevés dans un site urbain sur les hauteurs de la banlieue proche d'Alger à 200 m par rapport au niveau de la mer. Tant que c'est la santé humaine qui est mise en jeu, connaître la qualité de l'air que nous respirons est d'une grande priorité. Ainsi, des solutions pourront être apportées pour y remédier. Citons comme exemple : l'installation de stations de surveillance de la qualité de l'air au niveau des centres urbains à densité importante ce qui aide à suivre en temps réel d'éventuels épisodes de pollution.

### 1. Description du site de prélèvement

Pour l'étude de la pollution atmosphérique par les particules inhalables en particulier les ETM, nous avons en fonction de l'objectif fixé et des moyens disponibles, opté pour un site de type périurbain. En effet, le site de mesure se situe à l'intérieur du Centre de Recherche Nucléaire de Draria qui est situé à Sebala dans la commune de Draria, une banlieue de l'Ouest d'Alger.

L'objectif est d'estimer le niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « **fond** » à la périphérie du centre urbain.

Le poste de mesure est implanté au niveau de la terrasse du bâtiment de la Division Physique et Applications Nucléaires (DPAN) à une altitude d'environ 13 m par rapport au sol. Ce site se caractérise par l'absence d'obstacles, fait l'objet d'une bonne ventilation naturelle. Hormis le trafic routier, le site n'est exposé à aucune source émettrice qui peut influencer directement sur le site étudié.

L'image satellitaire (Fig. 5) du site de prélèvement est obtenue à l'aide du logiciel **Google Earth Software**.



**Figure 5** : L'image satellitaire relative au site de prélèvement. (Google Earth Software.)

En effet, certaines particules sont émises dans les gaz d'échappement des véhicules tandis que d'autres sont formées dans l'atmosphère par des réactions chimiques entre les polluants émis dans les gaz d'échappement. Les particules fines aggravent les symptômes des personnes atteintes de maladies respiratoires ou cardiovasculaires.

## 2. Matériels

### 2.1. Échantillonneur

L'échantillonneur est généralement constitué d'une tête d'échantillonnage, d'un porte-filtre renfermant le média filtrant, d'un dispositif de mesure du débit d'air et d'un système de pompage. (Delmas, 2005).

L'échantillonneur est composé de :

- Un appareil LVS "Low Volume Sampler", pour aspirer l'air, avec un débit quasi constant (petites variations dues au colmatage) de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ . La pompe de prélèvement alimentée par un courant électrique aspire l'air avec un débit de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  (Low Volume Sampler - LVS). Les quantités de poussières prélevées pour un temps donné sont moins grandes qu'avec un HVS.
- Un porte filtre ou cassette utilisé comme support de filtre pendant la collecte. L'air aspiré passe à travers le porte filtre.
- Les filtres utilisés pour la collecte des aérosols sont en nitrate de cellulose de porosité de  $0.8 \mu\text{m}$  (type AA) et d'un diamètre de 37 mm.
- Les particules en suspension (TSP) sont retenues par le filtre de nitrate de cellulose.
- La collection des aérosols est effectuée sur des filtres ouverts sans coupure granulométrique précise.
- Le volume d'air échantillonné est donné par un volumètre placé entre le porte filtre et la pompe de prélèvement.

La surveillance de l'état de la pression au niveau du dispositif est nécessaire afin d'éviter le colmatage des filtres de rétention.

La durée de prélèvement est d'environ 48h.

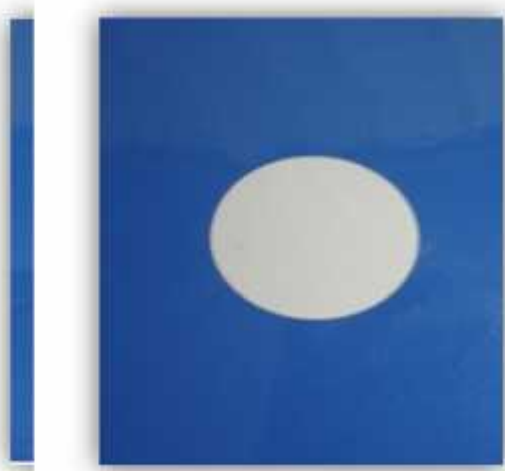
### 2.2. Média filtrant

Les filtres membranes les plus utilisés pour la collecte des particules ont une porosité supérieure ou égale à  $0,8 \mu\text{m}$ . Ces fibres sont plus hygroscopiques que les filtres en fibres de verre, mais présentent l'avantage d'avoir des teneurs extrêmement faibles en éléments métalliques. (Norme ISO 9885, 1993).

Le choix des filtres utilisés pour le prélèvement est primordial. Deux phénomènes peuvent résulter d'un mauvais choix : Le colmatage du filtre lors du prélèvement et la contamination de l'échantillon par des teneurs en métaux issues du filtre.

Pour sélectionner un filtre, nous utilisons les critères suivants:

- L'efficacité de la collecte des poussières totales qui doit être supérieure à 99%.
- La résistance au colmatage.
- La résistance mécanique : le filtre doit être suffisamment résistant pour minimiser les fuites.
- La stabilité chimique : le filtre ne doit pas réagir avec les particules et les composés chimiques échantillonnés.
- La stabilité à la température : les filtres doivent être stables à différentes températures.
- La concentration du blanc : le blanc doit comporter les composés à analyser dont les concentrations doivent être inférieures à la limite de détection.
- Le coût.



a) Filtre avant prélèvement



b) Filtre après prélèvement

**Figure 6** : Les filtres en nitrate de cellulose

### 2.3. Le réacteur nucléaire NUR de Draria

Les différentes opérations d'irradiations, que nous avons réalisées ont été exécutées dans un des canaux du réacteur NUR de Draria.

Le réacteur nucléaire est un dispositif de contrôle des réactions en chaîne, il est de très loin la meilleure source de neutrons avec un flux allant jusqu'à  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.s. Un réacteur nucléaire peut produire un faisceau de neutrons très intense avec différents types d'énergie (thermique, épithermique, rapide).



Le Réacteur de Recherche NUR est un réacteur de recherche ouvert de type piscine. Il est doté d'une grande flexibilité expérimentale et sa puissance nominale est de un (1) Mégawatt.

Le réacteur dispose de sites d'irradiation verticaux dans le cœur et dans la colonne thermique. Il dispose également de cinq canaux d'irradiation horizontaux.

Les autres principaux constituants du réacteur nucléaire NUR sont :

- Le cœur.
- Le système de refroidissement.
- La protection biologique.
- Les canaux d'irradiation.

Le transfert des échantillons vers les sites d'irradiations s'effectue soit par voie manuelle, soit par voie pneumatique. La voie manuelle est utilisée pour les longues durées d'irradiation pour l'analyse des radioéléments de longue période tel que le fer, le sélénium ou le cobalt. L'analyse des radioéléments de courte période (chlore, Manganèse, vanadium, etc.) nécessite l'utilisation de l'un des deux systèmes de convoyages rapides suivants :

- Le système de convoyage pneumatique rapide est utilisé pour le transfert des échantillons vers un canal situé dans la cage central. Cette voie d'irradiation convient très bien pour l'exploitation des réactions à seuil avec les neutrons rapides FNAA<sup>1</sup> ou les réactions de capture radiative avec les neutrons thermiques ENAA<sup>2</sup>. Les niveaux de flux des neutrons rapides et épithermiques y sont relativement élevés comparativement aux sites situés à la périphérie du cœur.
- Le système de convoyage pneumatique rapide est utilisé pour le transfert des échantillons vers la colonne thermique. Ce site situé à la périphérie du cœur présente un rapport flux thermique sur flux rapide très élevé minimisant ainsi les réactions d'interférences dues aux neutrons rapides.

#### 2.4. Chaîne de spectrométrie gamma

Dans sa structure de base, une chaîne de mesure doit pouvoir assurer, au moyen des dispositifs appropriés (*Gilmore G. R. 2008*), (Fig. 7), les fonctions suivantes :

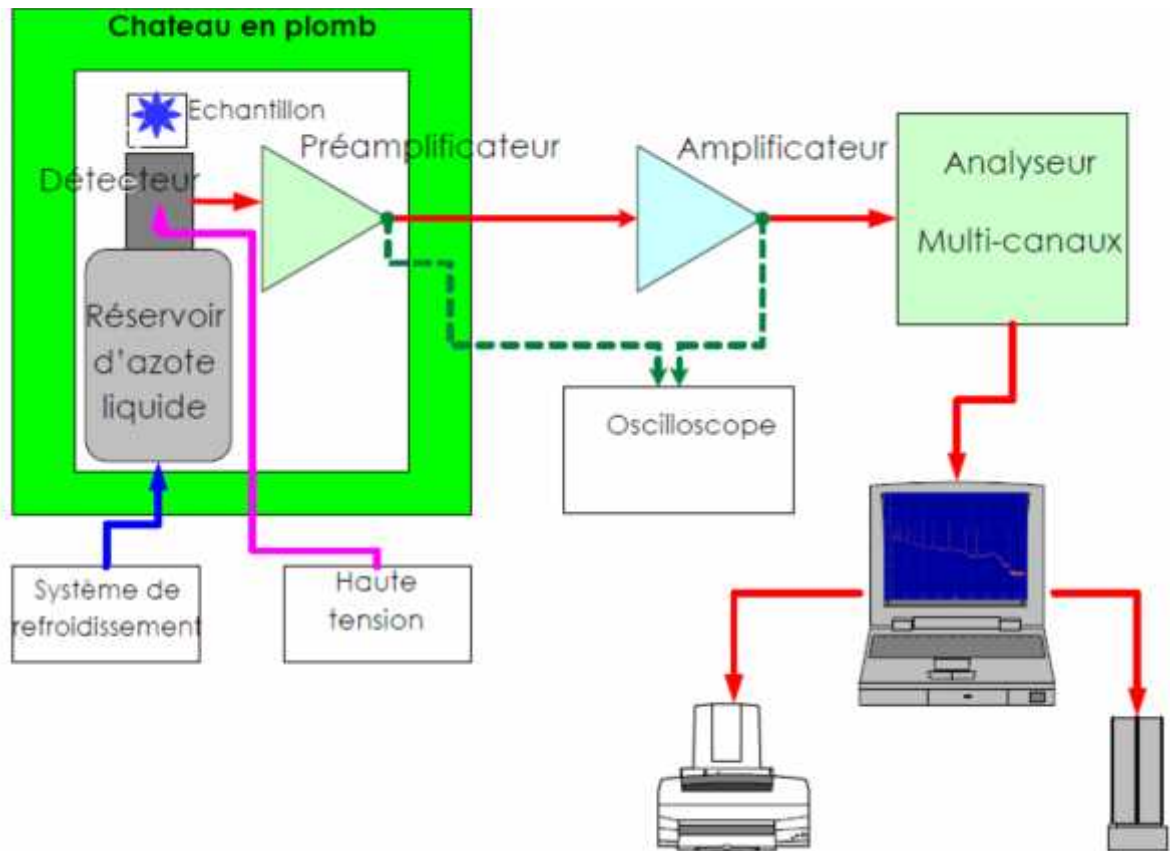
- Extraction de l'information concernant chacune des grandeurs physique à connaître et traduction en signal électrique au moyen de capteurs et conditionneurs.
- Traitement analogique de signal destiné en particulier à en éviter la dégradation par le bruit et les parasites: amplificateur, filtrage.
- Conversion du signal sous forme numérique : adaptée au ordinateur chargé de l'exploiter, au moyen de l'échantillonneur-bloqueur et convertisseur analogique-numérique.
- La coordination des opérations précédentes est assurée par un ordinateur qui, en outre, peut être chargé de divers traitements sur les signaux numérique qu'il a

<sup>1</sup>Fast Neutron Activation Analysis

<sup>2</sup>Epithermal Neutron Activation Analysis



acquis, les traitements sont destinés à faciliter leur exploitation (linéarisation) ou corriger des défauts de l'appareillage.



**Figure 7 :** Configuration d'une chaîne de spectrométrie gamma

La chaîne de spectrométrie gamma située à proximité du dispositif de réception des capsules irradiées, est composée des modules électroniques divers : un détecteur, un préamplificateur, une haute tension, un amplificateur, un convertisseur analogique digital (numérique) ADC, et un analyseur multi-canal MCA.

#### 2.4.1. Le détecteur

La détection des rayons gamma dans un cristal semi-conducteur, s'effectue par l'intermédiaire des électrons créés lors de l'un des trois type d'interaction : l'effet photoélectrique, la diffusion Compton ou la création de paires.

Ces électrons sont transformés en une grandeur (tension électrique) directement exploitable par l'électronique associée. De l'énergie de rayons gamma est cédée éventuellement au détecteur qui résulte de la création des paires d'électron-trou, c'est-à-dire l'ionisation du cristal HP Ge (Nicholas T., 1995).

L'énergie moyenne nécessaire à la formation d'une paire électron-trou dans un réseau de semi-conducteur est indépendante de la nature de rayon gamma.

Sa valeur est de quelque fois la valeur de la bande interdite ( $E_g$ ), soit 2,95 eV pour le Ge à 80<sup>0</sup>K (avec  $E_g=0,74$  eV), la quantité de ces charges électriques produits  $Q$  est donc

proportionnelle à l'énergie de rayon gamma déposée. Pour éviter une recombinaison immédiate de l'électron et du trou, ces charges doivent être soumises à un champ électrique intense de polarisation (dû à l'application de haute tension), qui assure la séparation rapide et la collecte (zone de déplétion W).

#### 2.4.2. Le préamplificateur

Il est généralement placé à proximité du cristal de germanium sur le même capot, de cette manière les composants sensibles à la température sont refroidis et le bruit thermique général par ses composants est minimisé. Le rôle du préamplificateur est de fournir une impulsion de tension qui peut être traitée par l'amplificateur à partir des charges collectées sur les électrodes du détecteur.

#### 2.4.3. La haute tension

La plupart des détecteurs, exigent un filtre de haute tension pour fonctionner. La haute tension (dynamique de  $0 \pm 5$  ou  $6$  Kev) permet de polariser le  $SC^3$  afin d'obtenir une zone désertée importante dans le cristal HP Ge. Notons que l'application de la haute tension sur le détecteur se fait de manière graduée jusqu'à arriver à la valeur +2000v.

#### 2.4.4. L'amplificateur

D'une façon générale un amplificateur remplit une triple fonction (Nicholas T., 1995) :

- En augmentant son niveau, il assure une protection du signal vis-à-vis des parasites, de bruit de fond, et des dérivés des autres éléments de la chaîne.
- Par son impédance d'entrée élevée et sa faible impédance interne, il permet d'assurer un transfert optimal du signal entre les dispositifs qui les relient.
- Il améliore la précision de mesure en portant le signal au niveau requis par l'échelle d'entrée de l'élément final de la chaîne (le CAN).

#### 2.4.5. Le convertisseur analogique numérique (numérique) ADC

Le convertisseur analogique numérique (CAN) reçoit à son entrée une tension analogique  $V_i$ , et délivre à la sortie un signal numérique correspondant, selon un code binaire déterminé à la valeur numérique  $N$  associée à  $V_i$ .

Elle est caractérisée par :

- La plage de tension analogique convertible (tension pleine échelle  $V_{pe}$  de 10v)
- Le nombre de  $n$  bits du mot de sortie ( $n=8, 10, 12, 16,$ etc.)
- Le temps  $t_c$  nécessaire pour effectuer une conversion

#### 2.4.6. L'analyseur multi-canal MCA

La fonction du MCA consiste à sélectionner les impulsions suivant leurs amplitudes. Le MCA est basé sur 3 fonctions, chacune a sa propre mémoire contenant les instructions d'opérations ainsi qu'une mémoire utilisée pour l'acquisition, le stockage des paramètres d'analyse.

La mémoire du MCA est arrangée en série de canaux et chaque canal est capable de stocker un très grand nombre d'impulsions.

### 3. Méthodes

#### 3.1. Echantillonnage par la méthode de filtration

Pour cette étude, nous avons récupéré des échantillons d'air à l'aide d'un système de pompage d'air à raison d'un prélèvement par 48 heures. En effet, la fraction inhalable correspond à la probabilité moyenne d'inhalation, par le nez et par la bouche, des particules en suspension dans l'air. Cette fraction n'est valable que pour des vitesses d'air inférieures à 4 m/s, le prélèvement de la fraction inhalable par la technique de filtration est décrit dans la norme NF X 43.257.

La durée de prélèvement permet de suivre le niveau de la contamination pendant 48h et 72h pour obtenir ainsi une moyenne représentative de la pollution de l'air. Ceci nous permet d'une part une charge importante sur le filtre et d'autre part limiter la saturation pour certains éléments pour ne pas affecter les conditions d'analyse.

Après la collecte et la pesée, l'échantillon est déposé dans une boîte de pétri étanche qui est par la suite stockée dans des dessiccateurs à température ambiante.

Tout au long de la période des prélèvements, nous avons essayé d'enregistrer toute remarque pouvant influencer les résultats, afin de donner une bonne interprétation.

#### 3.2. Détermination des teneurs en TSP dans les aérosols collectés

Les teneurs en TSP sont déterminés par la méthode gravimétrique. Le relevé des filtres est manuel, les filtres empoussiérés doivent être pesés dans les mêmes conditions de température et d'humidité que les filtres vierges, sans perdre de matière lors des manipulations.

Après la collecte et la pesée, l'échantillon est déposé dans une boîte de pétri étanche qui est par la suite stockée dans des dessiccateurs à température ambiante.

#### 3.3. Détermination des teneurs en ETM associés aux TSP

Idéalement on doit analyser un standard avec les caractéristiques les plus proches possibles de la matrice des échantillons qu'on a l'intention d'étudier. Mais, comme il n'y avait pas de standards spécifiques (standards en filtre de nitrate de cellulose), on a dû choisir des standards avec une composition organique qui a déjà été caractérisée par plusieurs autres méthodes analytiques.

En effet, dans notre cas, nous avons utilisé 4 types de standards AIEA, à savoir le V8 (poudre de seigle), l'A13 (poudre de sang), le GSS8 (standard de sol) et le GSV4 (thé chinois), dont la composition en éléments ainsi que les concentrations correspondantes sont connues.

### 3.3.1. Etalonnage de la chaîne de mesure

Une bonne mesure spectroscopique dépend de la calibration de la chaîne de mesure qui suit les étapes suivantes :

➤ L'étalonnage en énergie : L'analyse du spectre nécessite l'alignement respectif des raies de la source d'étalonnage qui émet des photons gamma d'énergies connues aux canaux correspondants. Nous avons utilisé comme source de calibration la source d'Eu(152) qui couvre toute la gamme d'énergie qui nous intéresse [0 ; 2000KeV].

➤ L'étalonnage en efficacité : Pour une chaîne de spectroscopie, la connaissance de l'efficacité permet de retrouver l'activité d'une source radioactive ou, dans le cas de l'analyse par activation neutronique par voie absolue, de déterminer la concentration d'un élément dans l'échantillon ; en effet, lorsqu'il n'est pas possible d'appliquer la procédure relative en raison de l'absence du standard adapté au spécimen à doser, Elle est aussi utilisée pour établir des prévisions de comptage et déterminer les conditions de l'expérience telle que la durée d'irradiation, le niveau de flux et la durée de décroissance.

L'efficacité de la chaîne de détection est une fonction de l'énergie du photon gamma et de la distance source-détecteur.

### 3.3.2. Détermination des teneurs en ETM de courte période

#### 3.3.2.1. Conditionnement des échantillons et standards pour irradiation

Les éléments ciblés sont ceux ayant une période de quelques minutes à quelques heures. L'analyse de ces éléments nécessite un étalonnage en énergie adapté (0.8 KeV/canal) de la chaîne de mesure, des modules électroniques qui comptabilisent les pertes de comptage et la détermination exacte du temps de décroissance de l'échantillon avant l'étape de mesure. Toujours dans le même esprit de précision des mesures, les échantillons sont manipulés avec une grande délicatesse pour éviter toute contamination.

Afin d'obtenir des concentrations élémentaires les plus précises tout en préservant les propriétés chimiques initiales ; nous avons suivi les étapes suivantes :

- La masse des échantillons ainsi que les standards ont été mesurés avec une balance analytique de précision de 0.1mg.
- Les échantillons de filtre sont coupés en deux, une partie destinée à l'analyse par activation neutronique et l'autre partie à l'analyse par une autre méthode.
- Les échantillons et les standards ont été enveloppés dans une capsule en PEBD (polyéthylène de basse densité) déjà testé et analysé par NAA.
- Les échantillons et les standards ainsi que des moniteurs de flux (dans notre cas des fils de Ni ultra pur), sont enveloppés dans du PEBD et disposés dans des navettes en polyéthylène fermées hermétiquement.
- Ces navettes sont par la suite introduites dans le cœur du réacteur, pour irradiation, selon un ordre défini préalablement.

### *3.3.2.2. Mesure des spectres gamma par spectrométrie gamma*

Dans le cas de l'analyse des ETM de courte période, les échantillons sont analysés immédiatement après leur sortie du cœur du réacteur, dans ce cas le temps de décroissance est équivalent à la différence entre le temps début d'acquisition et le temps de sortie de cœur.

Dès la sortie des échantillons du cœur du réacteur et en présence du personnel de radioprotection, nous procédons à la décapsulation et isolement des échantillons dans des flacons propres et étiquetés, ensuite au transfert des échantillons au système de comptage.

Les radio-isotopes produits sont identifiés à travers leurs trois caractéristiques physiques : intensité des rayonnements émis, période radioactive et énergie des rayonnements émis.

La détection est faite à l'aide d'un détecteur au germanium hyper-pur ; les spectres sont enregistrés avec un analyseur multi canaux.

Ainsi, dans la salle de comptage, le détecteur est placé dans un château de plomb à basse teneur en matériaux radioactifs naturels qui le protège contre l'influence des autres échantillons à compter ou déjà comptés. Aussi il ne faut pas laisser dans la salle, des sources radioactives sans blindage en plomb.

Le choix de la géométrie doit se faire rapidement pour ne pas perdre les éléments de courte période ciblés. Le temps d'acquisition ou de mesure des spectres est de 5 minutes.

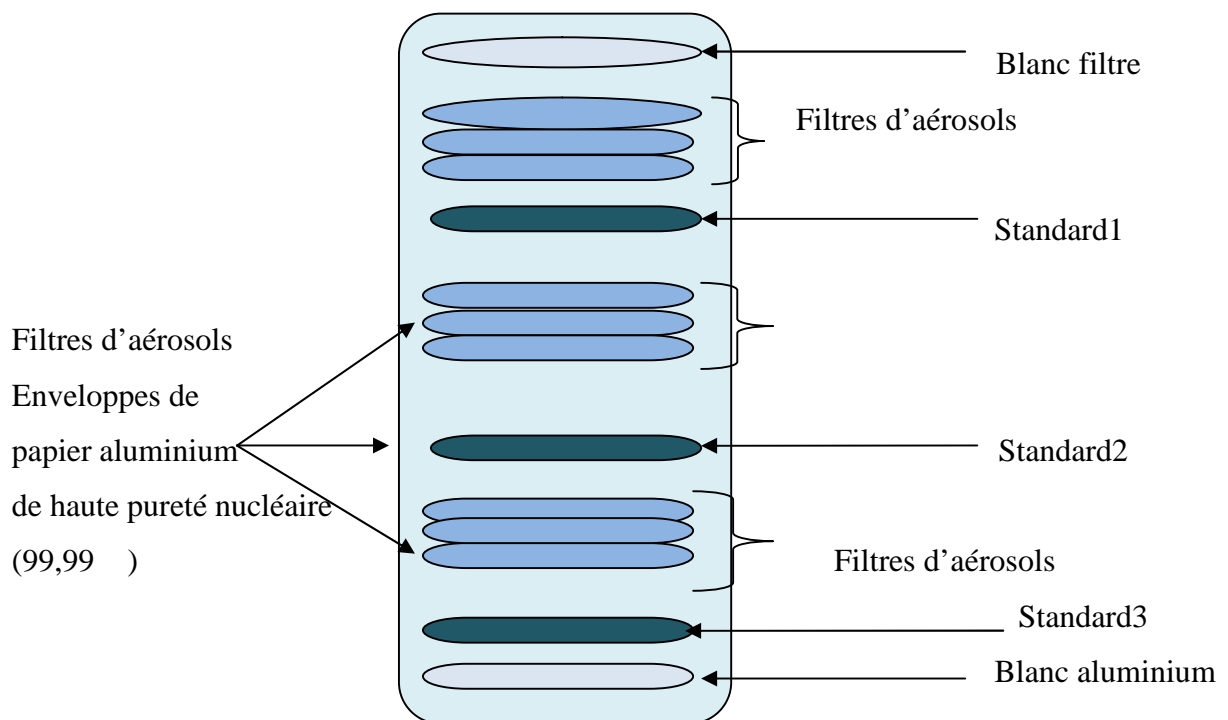
### 3.3.3. Détermination des teneurs en ETM de moyenne et longue période

#### 3.3.3.1. Conditionnement des échantillons et standards pour irradiation

L'étalonnage en énergie est fixé à 0.5 KeV/canal.

Pour le dosage des ETM de moyenne et longue période, le conditionnement des échantillons est différent de celui relatif aux ETM de courte période. Ainsi, les échantillons et les standards sont enveloppés dans des feuilles en aluminium de grande pureté nucléaire (99.999%) (Sroor et al., 2000), puis mis ensemble dans un même paquet en aluminium de haute pureté nucléaire et organisé de manière à ce que les échantillons et les standards reçoivent le même débit neutronique (Fig.8).

L'emploi de plusieurs standards dans une telle expérience est très utile pour compléter le dosage des éléments. Ainsi on choisira l'un ou l'autre suivant le pic observé sur le spectre collecté.



**Figure 8:** Schéma du conditionnement des échantillons dans la capsule destinée à l'irradiation

### 3.3.3.2. Décroissance radioactive des échantillons

La durée de refroidissement des échantillons ou durée de décroissance dépend de la période des radionucléides à analyser.

Pour ce qui est de cette étape de refroidissement, deux conditions primordiales sont à respecter, à savoir :

- Avoir une activité suffisante pour la mesure
- Assurer la radioprotection du personnel manipulateur.

Pour notre cas, pour ne pas perdre les éléments de moyenne période, nous avons choisi une durée de refroidissement de 4 jours pour la détection des éléments de moyenne période et 23 jours pour les éléments de longue période.

### 3.3.4. Analyse qualitative des résultats obtenus

Dans plusieurs cas, des problèmes d'identification et d'interprétation des résultats bruts peuvent être posés, citons à titre d'exemple des interférences où les radio-isotopes émettent des photons gamma avec la même énergie (*Firestone and Shirley 1999*). Une grande attention est recommandée pour la réalisation de cette étape, afin d'éliminer toute interférence spectrale induisant ainsi une grande marge d'erreur dans l'analyse quantitative des résultats bruts. Citons comme exemple l'interférence entre le Sélénium et le Mercure interférant tout les deux avec une énergie de 279 KeV.

Comme les rayons gamma émis sont caractéristiques, l'isotope émetteur est alors identifié.

### 3.3.5. Analyse quantitative des résultats obtenus

La phase de quantification dure plusieurs jours selon le nombre d'échantillons analysé, ainsi que le type de nucléide à doser.

Vu que la méthode utilisée étant la méthode relative, nous avons procédé à la détermination des concentrations en ETM dans nos échantillons irradiés en déterminant d'abord, dans les mêmes conditions expérimentales, les différentes énergies émises par l'échantillon et le standard, puis à l'application de l'équation spécifique à la matrice des filtres.

L'équation utilisée pour calculer la masse d'un élément dans un échantillon inconnu relative à un standard est la suivante (*De Soete et al., 1972, Zeev B. Alfassi. 1990*):

$$C_{ie} = C_{is} \left( \frac{(I_e \cdot e^{-\lambda t_{de}}) / M_e}{(I_s \cdot e^{-\lambda t_{ds}}) / M_s} \right) \quad (16)$$

$C_{ie}$ : Concentration de l'élément i dans l'échantillon.

$C_{is}$ : Concentration de l'élément i dans le standard.

$I_e$ : Intensité de l'élément dans l'échantillon.

$I_s$ : Intensité de l'élément dans le standard.

$\lambda$ : Constante radioactive de l'élément.

$t_{de}$ : Temps de décroissance de l'échantillon.



$t_{ds}$  : Temps de décroissance du standard.

$m_e$  : Masse de l'échantillon

$m_s$  : Masse du standard

La masse  $m_{st}$  ( $\mu\text{g}$ ) d'un élément dans le standard est donnée par la formule suivante :

$$m_{is} = m_s \cdot C_{is} \quad (17)$$

Où :

$m_s$  : Masse du standard en (g).

$C_{is}$  : Concentration de l'élément dans le standard en (ppm).

Dans le cas où l'élément considéré se retrouve au niveau des blancs utilisés, alors la formule sera corrigée par rapport aux blancs.

La concentration finale en éléments trace par rapport à un volume d'air prélevé  $V$  dans l'échantillon, est déterminée à partir de l'équation suivante :

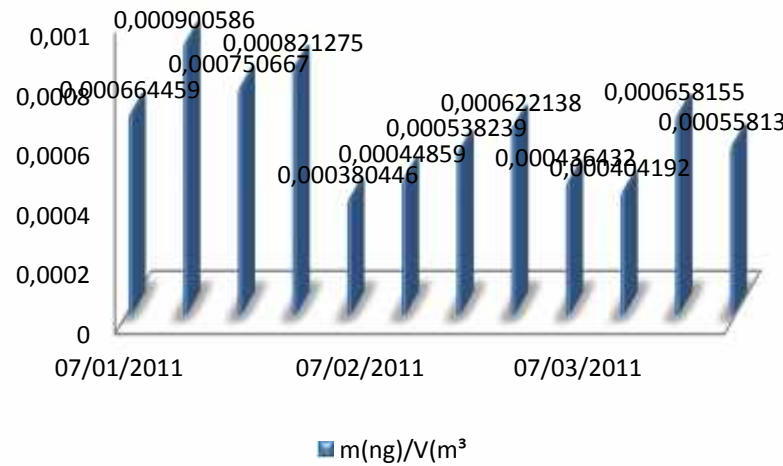
$$C_{ie} = 2 * \frac{m_{ie}}{V} \quad (18)$$

$m_{ie}$  : Masse mesurée de l'élément  $i$  dans l'échantillon.

$V$  : Volume d'air aspiré relatif à cet échantillon.



# Résultats



&

# Discussions

Après avoir réalisé l'analyse des échantillons collectés, les résultats cités ci-dessous illustrent le niveau de la pollution de l'air par les TSP et les ETM associés aux TSP dans le site choisi.

### 1. Etude des concentrations en TSP

Les résultats obtenus pour la matière particulaire en suspension dans l'air sont dressés dans le tableau 9 puis illustrés par la figure 9.

**Tableau 9** : Les teneurs en TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en fonction des dates de prélèvements

<b>Dates des prélèvements</b>	<b>Masse TSP (mg) ; †=0.08</b>	<b>volume d'air aspiré (<math>\text{m}^3</math>) ; UV=0.0005</b>	<b>Concentration TSP (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) †</b>
19/12/2010	1,1	46,789	23,51 ± 1.71
21/12/2010	1,6	50,671	31,58 ± 1.58
24/12/2010	1,5	52,0591	28,81 ± 1.54
26/12/2010	1	49,88	20,05 ± 1.60
28/12/2010	1,8	51,5527	34,91 ± 1.55
31/12/2010	3,1	74,796	41,45 ± 1.07
02/01/2011	1,3	50,75	25,62 ± 1.58
05/01/2011	1,8	79,389	22,67 ± 1.01
07/01/2011	2,3	49,974	46,02 ± 1.60
09/01/2011	1,6	50,318	31,80 ± 1.59
12/01/2011	2,3	76,683	30,00 ± 1.04
14/01/2011	2	45,815	43,65 ± 1.75
16/01/2011	2,3	54,555	42,16 ± 1.47
19/01/2011	3,9	76,429	51,03 ± 1.05
21/01/2011	1,4	45,924	30,48 ± 1.74
25/01/2011	1,6	45,645	35,05 ± 1.75
30/01/2011	3,4	121,07	28,08 ± 0.66
02/02/2011	1,3	78,802	16,50 ± 1.02
06/02/2011	2,4	96,417	24,89 ± 0.83
09/02/2011	4,6	78,665	58,48 ± 1.02

**Suite tableau 9 :**

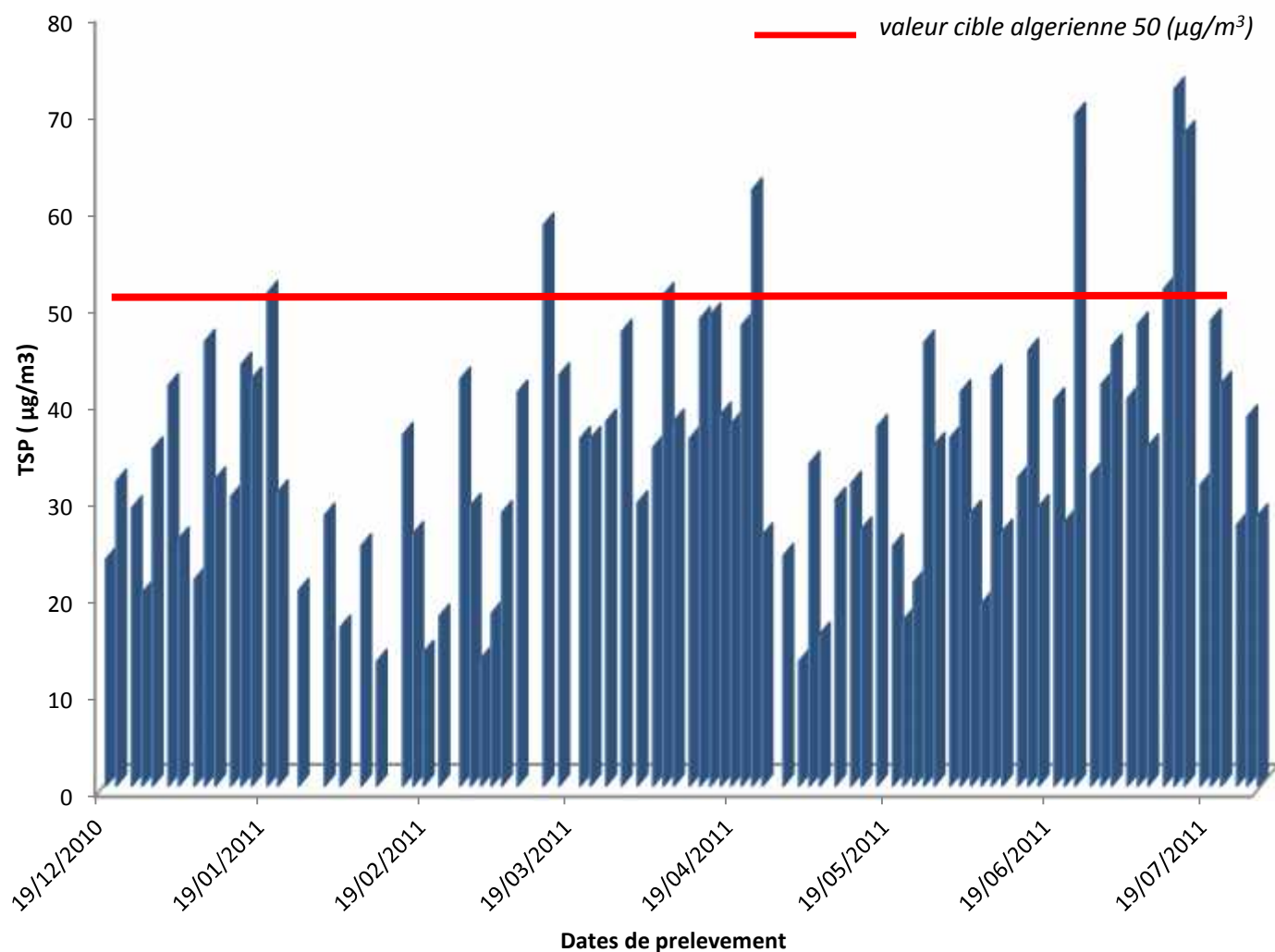
<b>14/02/2011</b>	2,9	79,685	36,39€1.00
<b>16/02/2011</b>	1,3	49,677	26,17€1.61
<b>18/02/2011</b>	0,7	50,363	13,90€1.59
<b>21/02/2011</b>	1,4	79,31	17,65€1.01
<b>25/02/2011</b>	5,2	123,42	42,13€0.65
<b>27/02/2011</b>	2,2	75,66	29,07€1.06
<b>01/03/2011</b>	1,1	82,81	13,28€0.97
<b>03/03/2011</b>	1,3	72,44	17,95€1.10
<b>05/03/2011</b>	2,2	77,57	28,36€1.03
<b>08/03/2011</b>	4,7	115,24	40,78€0.69
<b>13/03/2011</b>	11,2	192,90	58,06€0.41
<b>16/03/2011</b>	5,3	124,48	42,58€0.64
<b>20/03/2011</b>	5,2	149,66	34,75€0.53
<b>22/03/2011</b>	3,1	86,14	35,99€0.93
<b>25/03/2011</b>	4,2	111,18	37,77€0.72
<b>28/03/2011</b>	5,2	110,52	47,05€0.72
<b>31/03/2011</b>	3,7	126,14	29,33€0.63
<b>03/04/2011</b>	3,7	105,51	35,07€0.11
<b>05/04/2011</b>	3,9	76,71	50,84€1.04
<b>07/04/2011</b>	3,2	84,68	37,79€0.94
<b>10/04/2011</b>	3,8	105,59	35,99€0.76
<b>12/04/2011</b>	3,5	72,37	48,36€1.11
<b>14/04/2011</b>	2,7	55,39	48,74€1.44
<b>16/04/2011</b>	3	77,86	38,53€1.03
<b>18/04/2011</b>	3,1	82,63	37,52€0.97
<b>20/04/2011</b>	3,7	77,59	47,68€1,03
<b>28/04/2011</b>	1,9	79,482	23,90€1,00

Suite tableau 9 :

01/05/2011	2,2	80,02	12,98€0,42
03/05/2011	2,9	86,758	33,42€0,92
05/05/2011	1,8	114,01	15,78€0,70
08/05/2011	3,4	114,43	29,71€0,69
11/05/2011	3,6	114,85	31,34€0,69
13/05/2011	2,1	78,849	26,63€1,01
16/05/2011	3,8	102,07	37,22€0,78
19/05/2011	2,6	104,376	24,90€0,76
21/05/2011	1,2	69,68	17,22€1,14
23/05/2011	1,5	71,02	21,12€1,12
25/05/2011	2,2	47,906	45,92€1,66
27/05/2011	2,5	70,7	35,36€1,13
30/05/2011	3,6	99,79	36,07€0,80
01/06/2011	2,6	63,693	40,82€1,25
03/06/2011	1,8	63,5	28,34€1,25
05/06/2011	1,4	73,93	18,93€1,08
09/06/2011	2,3	87,17	26,38€0,91
12/06/2011	3,8	118,887	31,96€0,67
14/06/2011	3,4	75,38	45,10€1,06
16/06/2011	2,3	79,43	28,95€1,00
19/06/2011	4,7	117,52	39,99€0,68
21/06/2011	2,2	80,291	27,40€0,99
23/06/2011	6	86,357	69,47€0,92
26/06/2011	3,6	111,55	32,27€0,71
28/06/2011	3,6	86,537	41,60€0,92
30/06/2011	3,8	83,45	45,53€0,95
03/07/2011	4,9	122,14	40,11€0,65
05/07/2011	3,9	81,6	47,79€0,98
07/07/2011	2,7	76,664	35,21€1,04
10/07/2011	6,2	120,52	51,44€0,66
12/07/2011	6,2	86	72,09€0,93
14/07/2011	5,2	76,941	67,58€1,03

**Suite tableau 9 :**

<b>17/07/2011</b>	4	128,16	31,21€0,62
<b>19/07/2011</b>	3,9	80,96	48,17€0,98
<b>21/07/2011</b>	3,3	79,228	41,65€1,01
<b>24/07/2011</b>	3,2	118,27	27,05€0,67
<b>26/07/2011</b>	2,9	75,88	38,21€1,05
<b>28/07/2011</b>	2,3	82,128	28,00€0,97



**Figure 9 :** Évolution des teneurs atmosphériques en TSP mesurées à Draria (Alger).

Nous remarquons que les teneurs en TSP mesurées pendant la durée des prélèvements évoluent dans une large gamme de valeurs. La plus basse teneur est de  $12,96\mu\text{g}/\text{m}^3$  obtenue le mardi 09/02/2011 ; alors que la teneur maximale de  $72,09\mu\text{g}/\text{m}^3$  a été observée le mercredi 12/07/2011. En tenant compte de la législation algérienne relative aux particules en suspension dans l'air, on constate que presque tous les échantillons prélevés ne dépassent pas la valeur cible ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sauf pour sept (07) prélèvements relatifs aux dates suivantes : 19/01/2011, 13/03/2011, 05/04/2011, 10/07/2011, 12/07/2011, 14/07/2011, 23/06/2011.

**Tableau 10** : Comparaison entre les valeurs moyennes et extrêmes des teneurs en TSP en [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] de deux sites à Alger : urbain et périurbain.

	<b>Maximum</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>Minimum</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>Moyenne</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>Ecart type</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
<b>Teneur en TSP</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] à Draria	72,09	12,96	34,83	12,56
<b>Teneur en TSP</b> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] à Alger Centre	164	35	80	31

En tenant compte de ces normes, nous constatons que seulement 7,86 % des échantillons prélevés dépassent la valeur cible  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  contrairement à 76 % pour Alger centre (**Khodja Z., 2010**), ainsi on remarque que toutes les valeurs enregistrées ne dépassent pas la valeur limite ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sur la base de ces normes, on constate qu'à Draria, la pollution par les TSP est tolérable et n'est pas inquiétante avec une moyenne de  $34,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les variations temporelles des teneurs en TSP et leur présence dans l'air en concentrations alarmantes sont dues à plusieurs paramètres qui sont :

- Le trafic routier est la principale source de l'augmentation des teneurs atmosphériques en TSP dans notre cas, sachant que la densité de la circulation à Draria et ses alentours n'est plus à démontrer. Cette pollution est due aux émissions de véhicules, en particulier ceux à moteur diesel connues pour leur combustion incomplète de gasoil, moteur usés et absence de filtre à air et de catalyseur.
- Les conditions météorologiques ont un rôle important dans la dispersion des polluants, en l'occurrence :
  - La vitesse du vent.
  - L'augmentation de la température pendant la journée favorise l'augmentation des concentrations journalières expliquées par la diminution de l'humidité relative de l'air (phénomène d'inversion thermique)



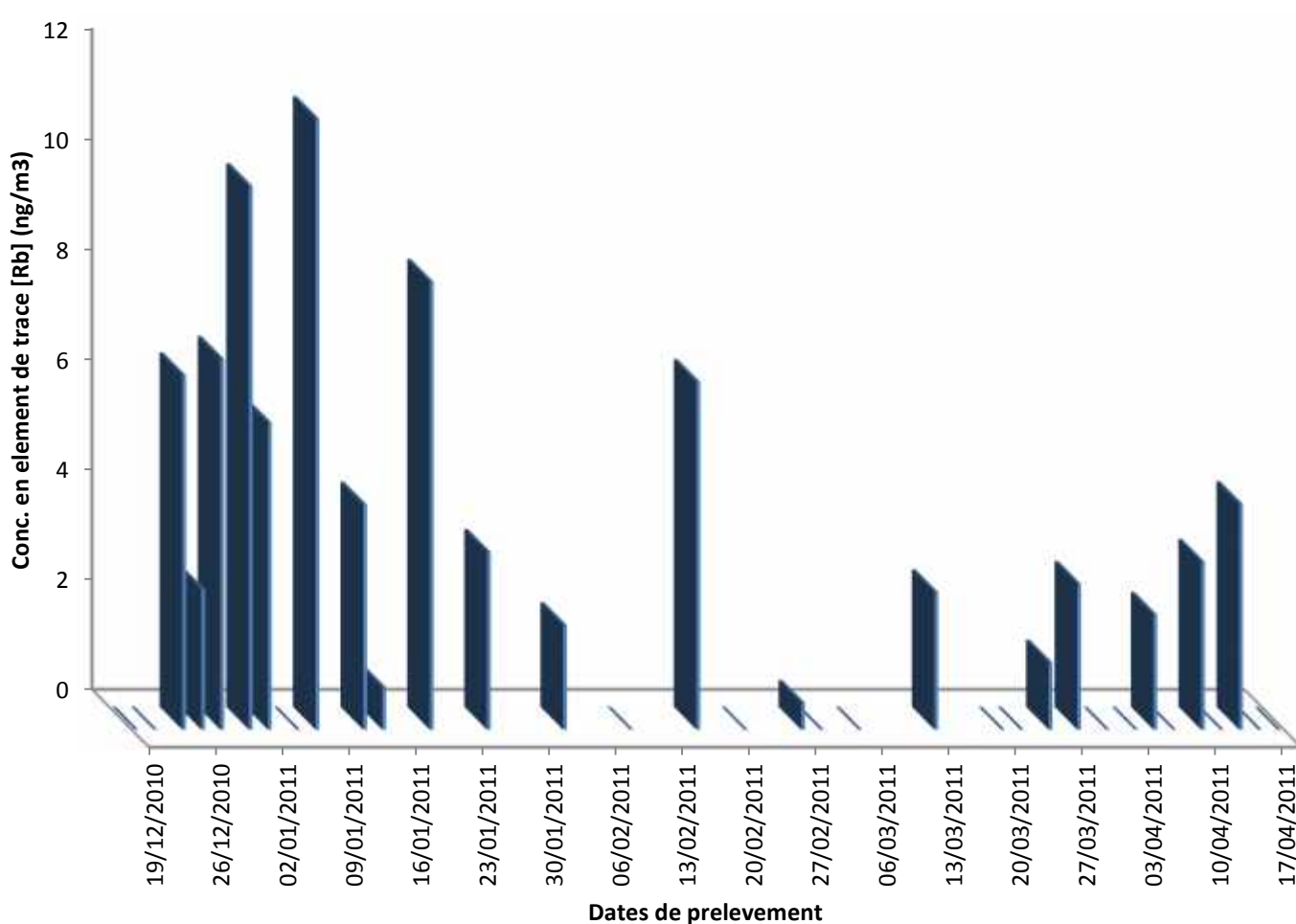
- La topographie ainsi que les brises de mer à Alger jouent aussi un rôle non négligeable dans la dispersion des différents polluants atmosphériques. (Fontan, 2003).

## 2. Etude des concentrations en ETM associés aux TSP

Une fois les échantillons analysés par la méthode NAA et les données traitées qualitativement et quantitativement, nous avons étudié la variation de la teneur en ETM dans les échantillons en fonction de la date de prélèvement du 19/12/2010 au 28/07/2011.

### 2.1. Le Rubidium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations du Rubidium en fonction des dates de prélèvement



**Figure 10** : Variation des concentrations du Rubidium en fonction de la date de prélèvement.

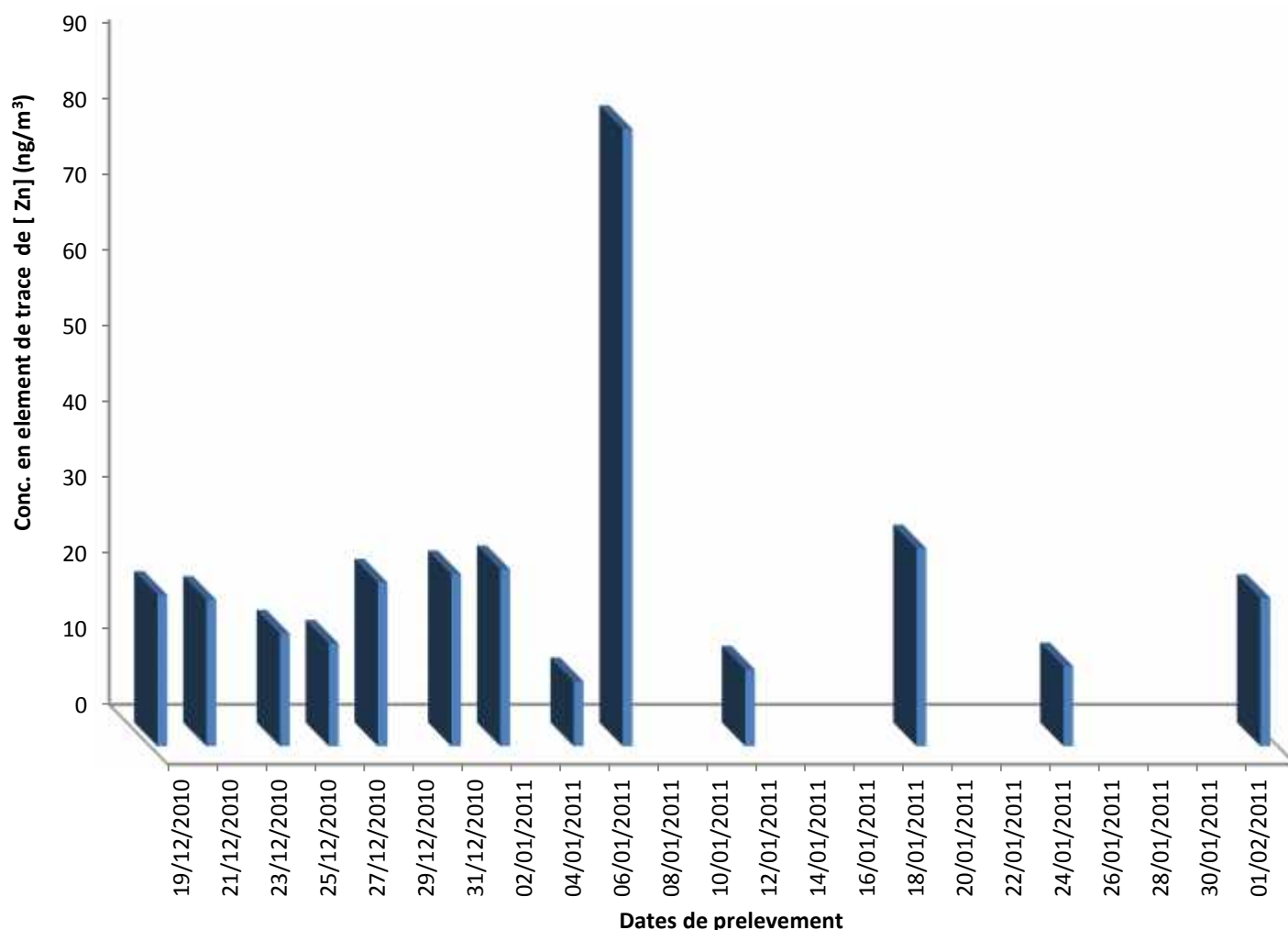
Les teneurs détectées en Rubidium sont faibles ; la valeur maximale  $11,1 \text{ ng/m}^3$  est obtenue le 25/03/2011, alors que la valeur minimale de  $0,19 \text{ ng/m}^3$  est obtenue le 02/02/2011.

Le rubidium peut être liquide à température ambiante, étant donné que son point de fusion est de  $40^\circ\text{C}$ . C'est un élément métallique mou et argenté-blanc du groupe des alcalins. [1]

Cet élément n'a pas été détecté dans plusieurs autres prélèvements.

## 2.2. Le Zinc

La figure suivante présente l'évolution des concentrations du Zinc en fonction des dates de prélèvement



**Figure 11** : Variation des concentrations du Zinc en fonction de la date de prélèvement.

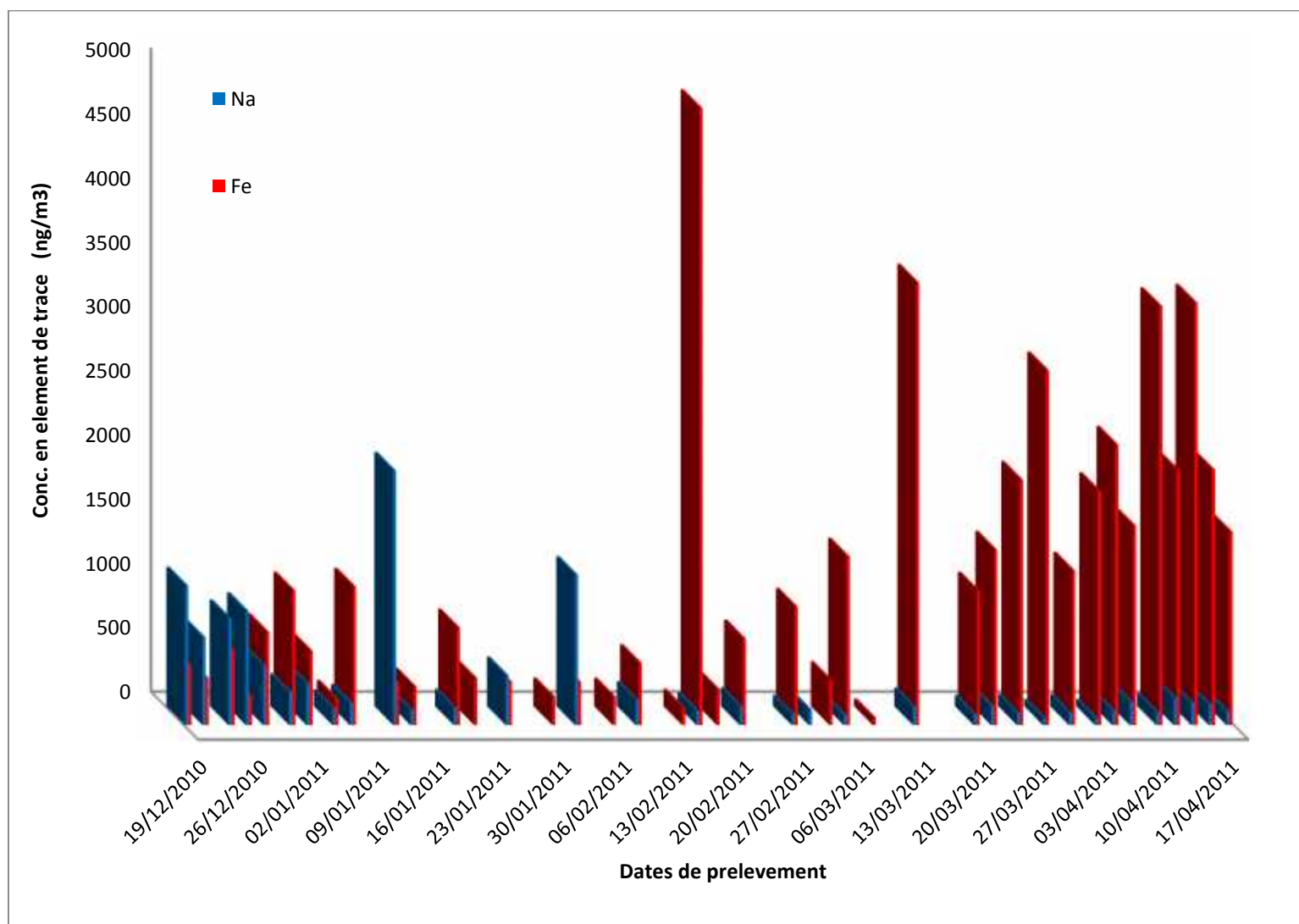
Les teneurs détectées en Zinc sont élevées ; la valeur maximale 81,230 ng/m<sup>3</sup> est obtenue le 07/01/2011 et la valeur minimale de 8,548 ng/m<sup>3</sup> est obtenue le 02/02/2011.

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier.

La production mondiale de zinc ne cesse d'augmenter, ce qui basiquement signifie que de plus en plus de zinc se retrouve dans l'environnement.

### 2.3. Le Fer et le Sodium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Fer et de Sodium en fonction des dates de prélèvement



**Figure 12:** Variation des concentrations du Fer et du Sodium en fonction de la date de prélèvement.

Nous constatons des concentrations très élevées de Fer dans presque tous les échantillons ; la valeur maximale est de 4797,1 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 16/02/2011 et la valeur minimale est de 59,15ng/m<sup>3</sup> obtenue le 08/03/2011. Nous remarquons une contamination significative du 13/03/2011 jusqu'au 18/04/2011.

Même en absence de valeurs guides nationales ou internationales, ces teneurs restent très élevées et sans doute présentent un risque pour la santé humaine lors d'une exposition chronique.

La source probable de cet élément est naturelle ou terrigène, par conséquent, une part non négligeable de la contamination de ce site pourrait provenir du phénomène de resuspension des particules de sol. Selon *Birmili 2006*, le fer peut aussi provenir du trafic routier (usure des freins).

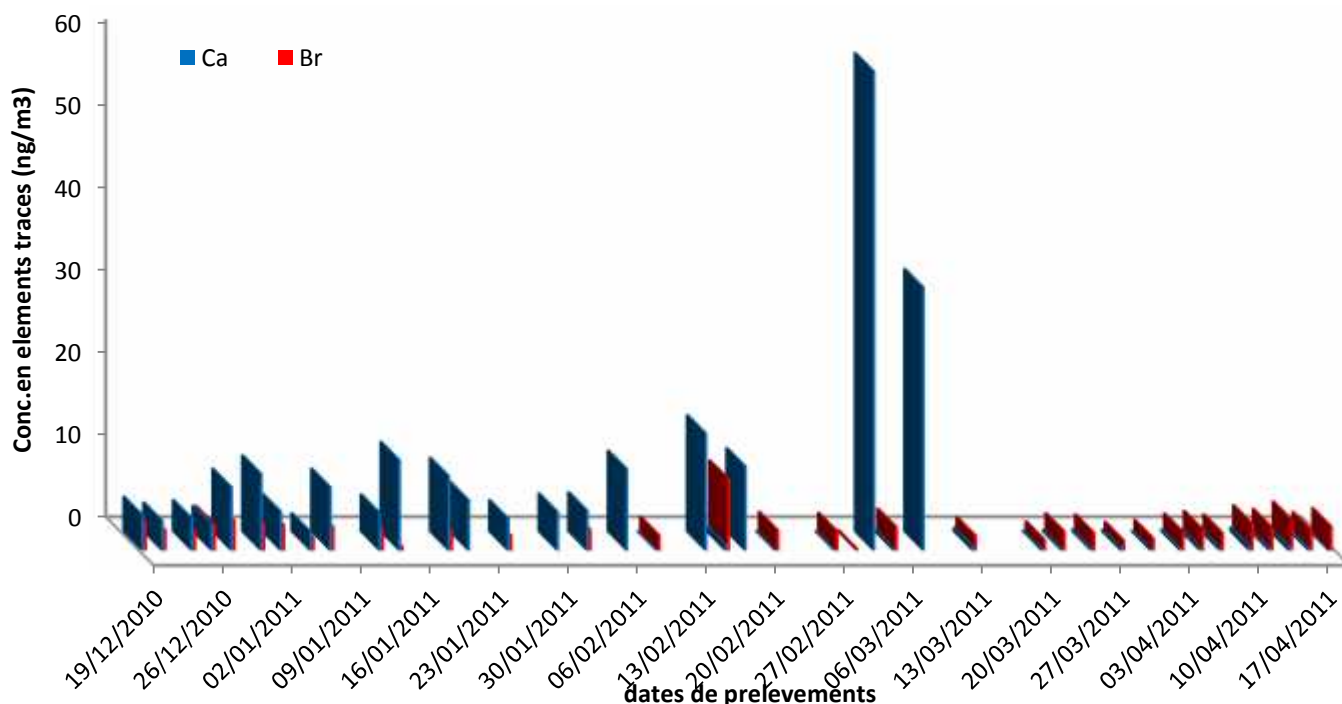
Concernant le sodium, la valeur minimale est de 56,06 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 03/04/2011 et la valeur maximale est de 1978 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 12/01/2010.

Le sodium est le sixième élément le plus abondant dans la croûte terrestre, qui contient 2.83% de sodium sous toutes ses formes. Le sodium est, après le chlore, le deuxième élément le plus abondant dissous dans l'eau de mer. Les sels de sodium les plus importants trouvés dans la nature sont le chlorure de sodium (sel de roche), le carbonate de sodium (soude), le borate de sodium (borax), le nitrate de sodium et le sulfate de sodium. Les sels de sodium sont trouvés dans l'eau de mer, les lacs salés, les lacs alcalins et dans l'eau de source minérale.

Enfin Le Sodium se trouve uniquement à l'état combiné dans la nature, on le retrouve dans les océans et dans les lacs salés sous forme de Chlorure de Sodium, et vu la proximité avec la mer méditerranéenne c'est tout a fait normal de trouver des concentrations élevées en Na a cause des brumes et vent marins.[1]

#### 2.4. Le Calcium et le Brome

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Calcium et de Brome en fonction des dates de prélèvement



**Figure 13:** Variation des concentrations du Calcium et du Brome en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Brome sont très faibles ; la valeur maximale obtenue le 16/02/2011 est de 8,689 ng/m<sup>3</sup> et la valeur minimale obtenue le 01/03/2011 est de 0,28ng/m<sup>3</sup>.

L'introduction d'alkyles de plomb dans le carburant peut entraîner la formation de dépôts en quantités importantes dans les chambres de combustion et les systèmes d'échappement. Pour éviter cet inconvénient, on incorpore à l'additif des produits d'entraînement appelés « scavengers » ; il s'agit du dibromoéthane, (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Br<sub>2</sub>) et du dichloroéthane (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>) qui transforme les dérivés du plomb en Bromure et Chlorure de plomb. Ces composés gazeux aux températures régnant à l'intérieur du cylindre, sont par conséquent, évacués en grande partie par les gaz d'échappement. [1]

Des concentrations importantes en calcium sont observées sur le site d'étude. La valeur maximale est de 57,91 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 03/03/2011 et une valeur minimale de 0,148ng/m<sup>3</sup> obtenue le 27/02/2011.

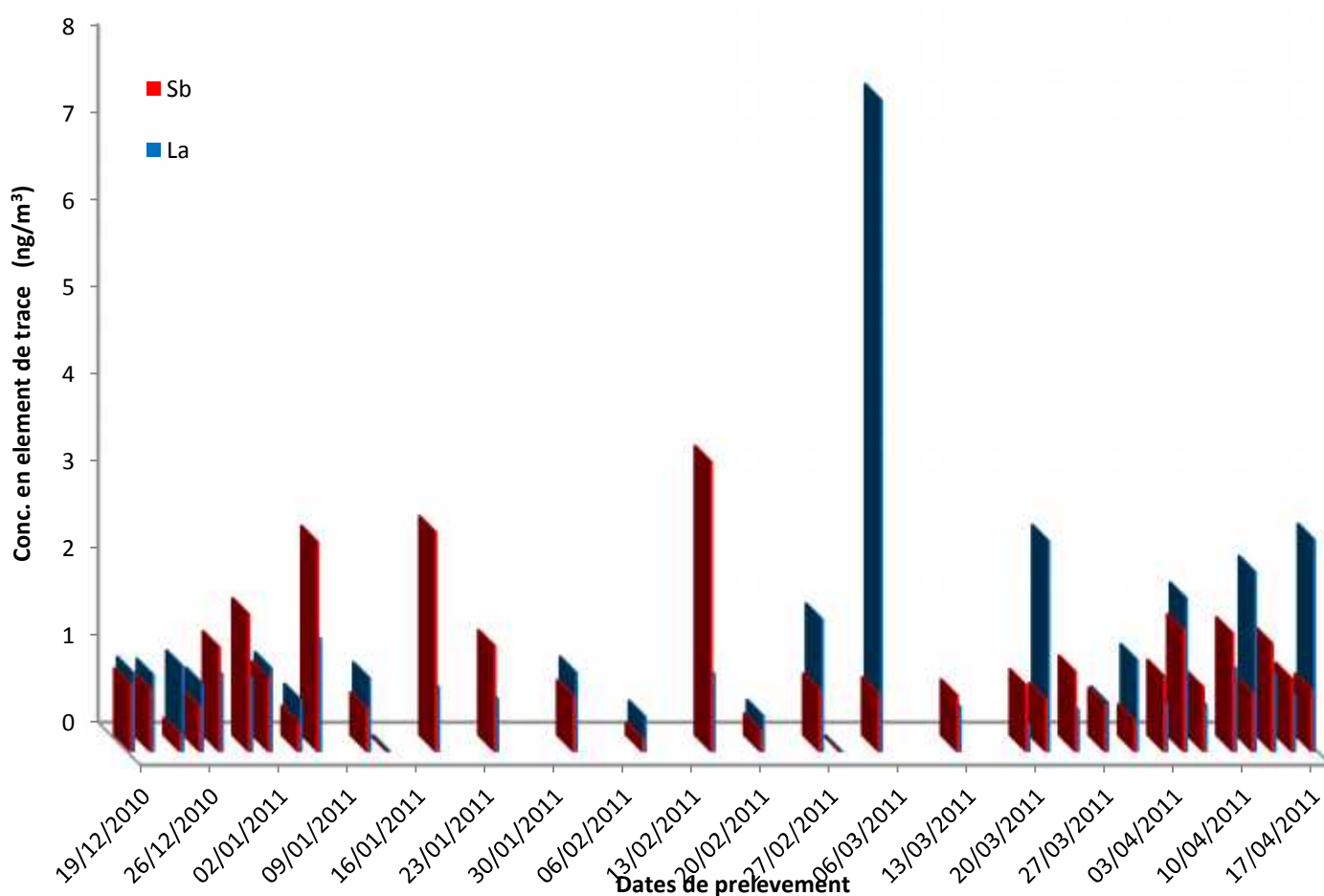
La présence du Calcium sur ce site peut être liée au trafic routier. Comme la plupart des métaux, le Calcium n'est pas réglementé dans l'air par des seuils à respecter.

Très abondant dans la croûte terrestre, et surtout dans le pourtour méditerranéen où la roche est de nature calcaire ce qui explique la dureté de nos eaux souterraines.

Le calcium atmosphérique provient principalement des activités industrielles. La combustion des combustibles fossiles (le raffinage du pétrole), dont la teneur en calcium est d'environ 10 000 mg/kg, constitue une source importante de calcium atmosphérique. L'oxyde de calcium (chaux) est abondamment utilisé dans l'industrie du bâtiment pour la préparation du mortier, du stuc et du plâtre. Il est utilisé dans la production des pâtes et papiers, pour le raffinage du sucre.

### 2.5. L'Antimoine et le Lanthane

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de l'Antimoine et du Lanthane suivant les dates de prélèvement



**Figure 14:** Variation des concentrations de l'Antimoine et du Lanthane en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Lanthane varient de 7.479ng/m<sup>3</sup>obtenue le 05/03/2011 à 0,012ng/m<sup>3</sup>obtenue le 14/01/2011.

Relativement répandu dans la nature : c'est le 28 élément le plus abondant dans la croûte terrestre, le lanthane impur est utilisé dans les alliages.

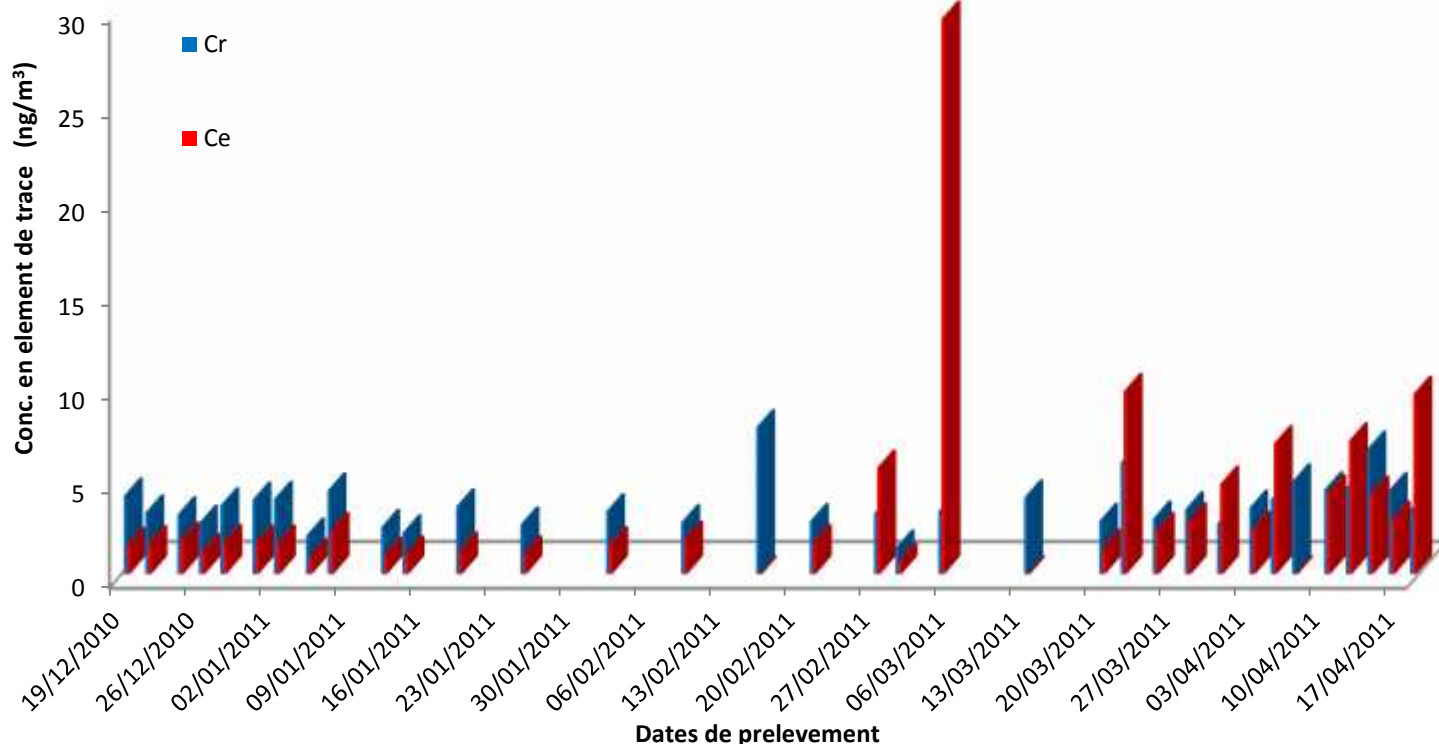
Exemple : les pierres de briquets sont fabriquées avec cet alliage.

Pour l'antimoine les valeurs varient de 3,33 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 16/02/2011 et 0,0012 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 14/01/2011.

L'Antimoine entre pour 0,001% dans la composition de l'écorce terrestre. Il est présent dans De nombreux minerais et principalement extrait sous forme de sulfures. Sa principale application est la production d'alliages, L'antimoine de grande pureté est employé comme dopant en semi-conducteurs : des composés intermétalliques de l'antimoine tels que l'antimoniure d'aluminium (AlSb).

### 2.6. Le Chrome et le Cérium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Chrome et de Cérium suivant les dates de prélèvement



**Figure 15:** Variation des concentrations du Chrome et du Cérium en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Chrome varient de 7.77ng/m<sup>3</sup>obtenue le 16/02/2011 à 1,38ng/m<sup>3</sup>obtenue le 01/03/2011.

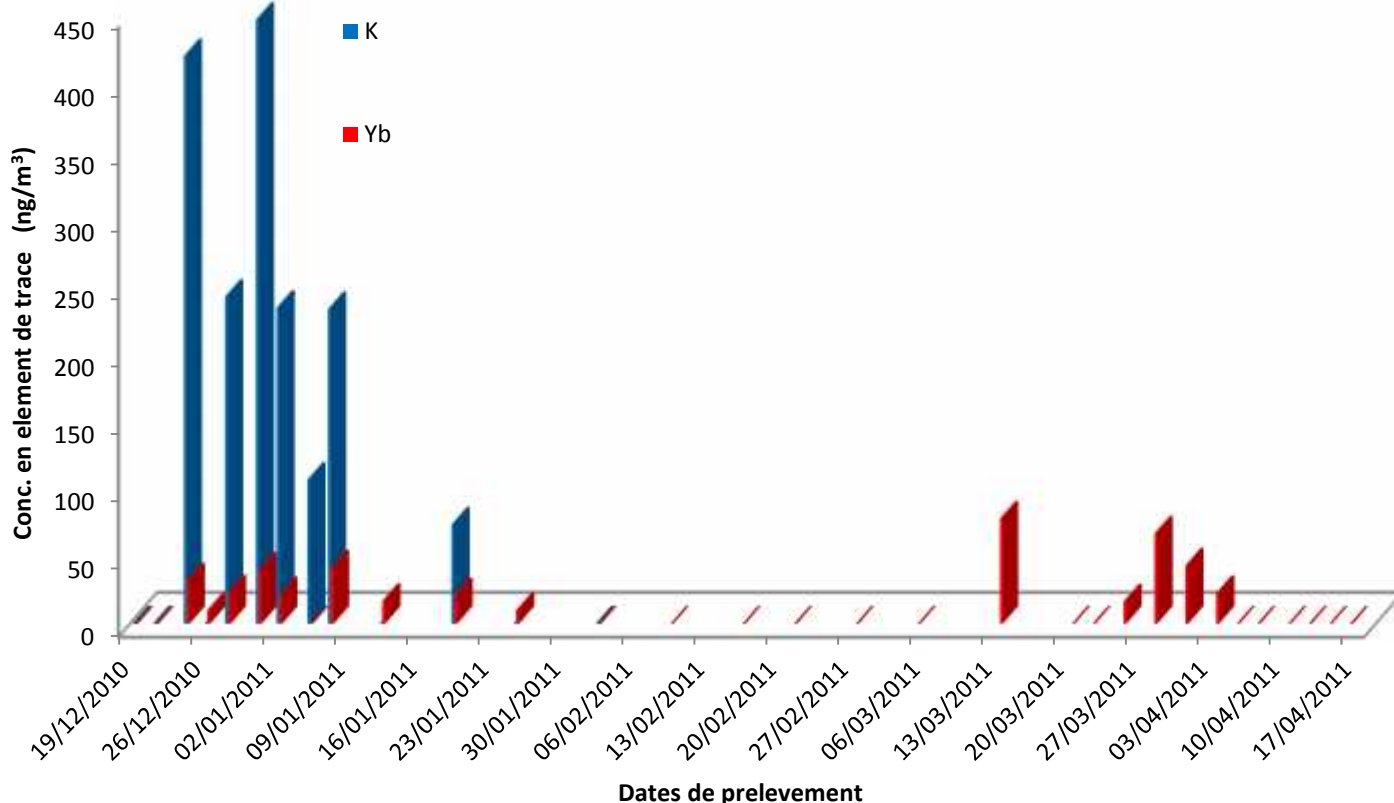
D'après (*Veschembre 2006*), le chrome est l'un des éléments émis par la combustion des essences, des revêtements des pots catalytiques ou de l'usure des jantes.

En termes de toxicité, le chrome peut présenter un danger pour le fœtus car cet élément se concentre dans les tissus des poumons. De récentes études tendent aussi à démontrer que l'inhalation du chrome hexavalentpourrait être responsable du cancer des poumons (*Benoit, 2000*).

Concernent Les teneurs détectées en cérium les valeurs varient de 29,43 ng/m<sup>3</sup>obtenue le 05/03/2011 à 0,68ng/m<sup>3</sup>obtenue le 01/03/2011.

### 2.7. Le Potassium et l'Ytterbium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Potassium et de l'Ytterbiumsuivant les dates de prélèvement



**Figure 16:** Variation des concentrations du Potassium et de l'Ytterbium en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en potassium varient de 445,6ng/m<sup>3</sup>obtenue le 31/12/2010 à 73,05ng/m<sup>3</sup>obtenue le 19/01/2011.



Le potassium peut avoir des effets quand vous respirez. L'inhalation de la poussière peut irriter les yeux, le nez, la gorge, les poumons avec l'éternuement, la toux et la gorge endolorie. Des expositions plus élevées peuvent causer une accumulation de liquide dans les poumons, ceci pouvant causer la mort. Le contact avec la peau et l'œil peut causer des brûlures graves menant à des dommages permanents. [1]

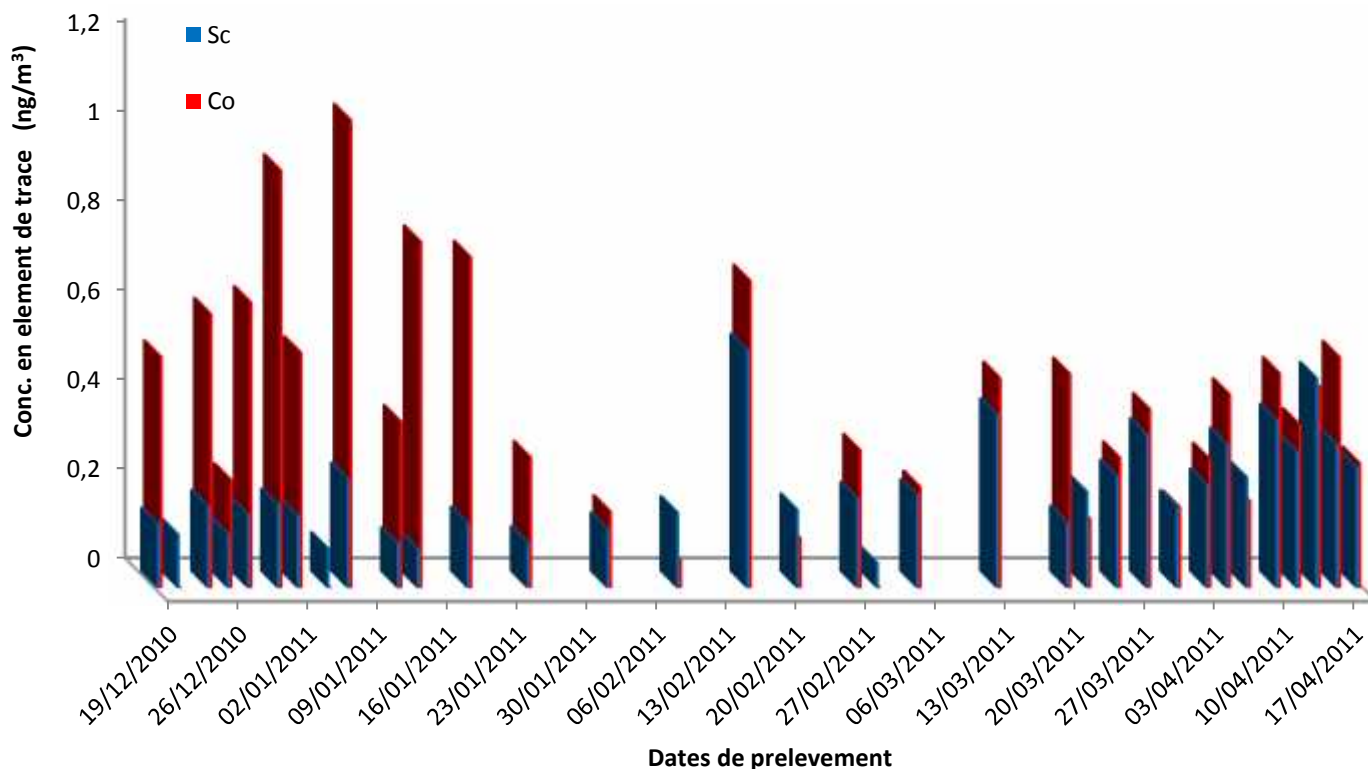
Les teneurs détectées en Ytterbium varient de 77,57 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 13/03/2011 à 9,92 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 25/01/2011.

L'ytterbium appartient à la famille des terres rares (lanthanides + scandium + yttrium), Ils sont utilisés en catalyse, métallurgie, dans les verres et les céramiques et aussi dans certaines

L'ytterbium est principalement dangereux sur le lieu de travail, car on peut alors en respirer les vapeurs et les gaz avec l'air. Ce qui peut provoquer des embolies pulmonaires, surtout lors de longues expositions.[1]

### 2.8. Le Cobalt et Scandium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Cobalt et du Scandium suivant les dates de prélèvement



**Figure 17:** Variation des concentrations du Scandium et de Cobalt en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Cobalt varient de 1,04ng/m<sup>3</sup> obtenue le 07/01/2011 à 0,064ng/m<sup>3</sup> obtenue le 09/02/2011.

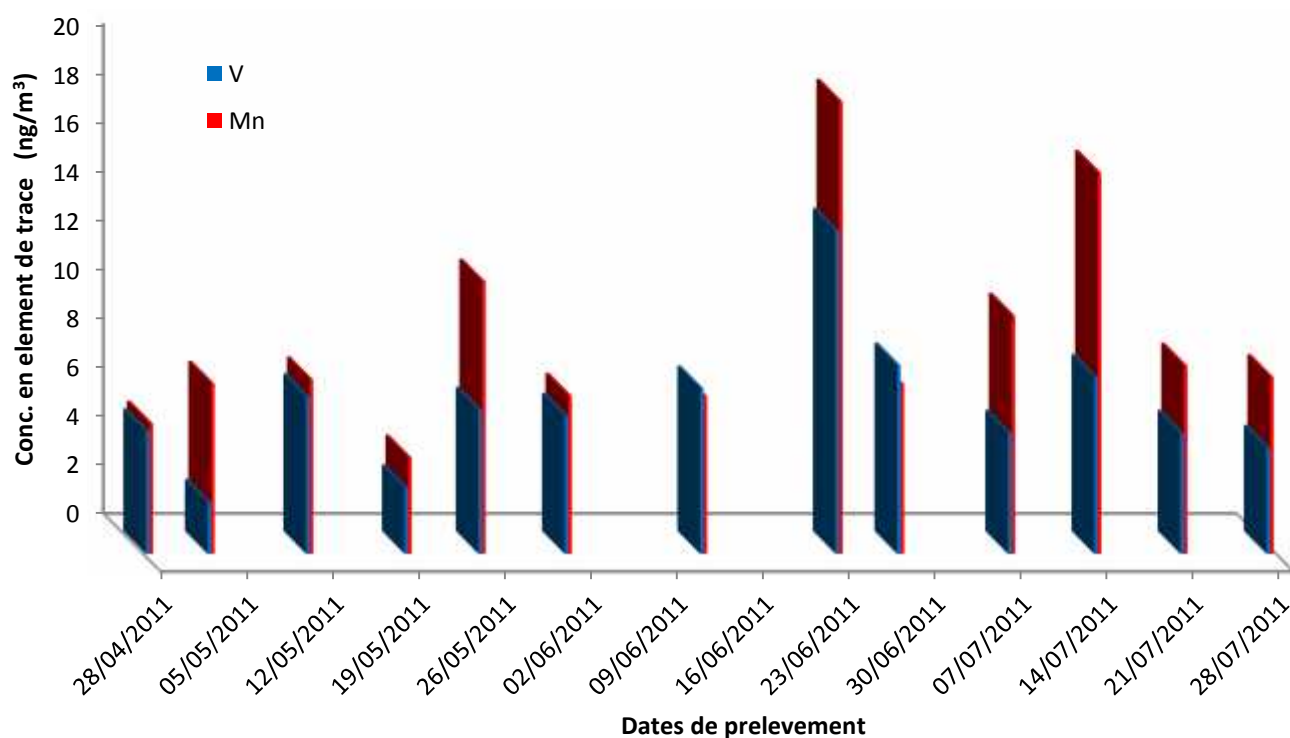
La présence du Cobalt dans l'air peut être liée directement aux émissions du trafic routier (De Miguel et al 1997), mais également il peut provenir du sol (Sandrine 2005). En termes de toxicité, il n'existe pas une valeur toxicologique de référence pour le cobalt élémentaire mais elle existe pour ses dérivés organiques et inorganiques.

Par inhalation, l'organe cible du cobalt est le système respiratoire. Les effets sont multiples : irritation respiratoire, respiration bruyante, asthme, pneumonies et fibroses. Une exposition professionnelle à des poussières de cobalt entraîne des cardiomyopathies. Une sensibilisation au cobalt par inhalation a été également démontrée. Une exposition à des aérosols de chlorure de Cobalt entraîne des crises d'asthme.

Les teneurs détectées en scandium varient de 0,531ng/m<sup>3</sup> obtenue le 16/02/2011 à 0,056ng/m<sup>3</sup> obtenue le 01/03/2011.

### 2.9. Le Vanadium et le Manganèse

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Vanadium et de Manganèse dans suivant les dates de prélèvement.



**Figure 18:** Variation des concentrations du Vanadium et du Manganèse en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Vanadium varient de 15,68ng/m<sup>3</sup> obtenue le 04/03/2011 à 0,31ng/m<sup>3</sup> obtenue le 25/02/2011.

le vanadium peut provoquer l'inhibition de certains enzymes chez les animaux, ce qui a plusieurs effets neurologiques. A côté des effets neurologiques le vanadium peut provoquer des désordres respiratoires, des paralysie, et des problèmes au foie et aux reins.[1]

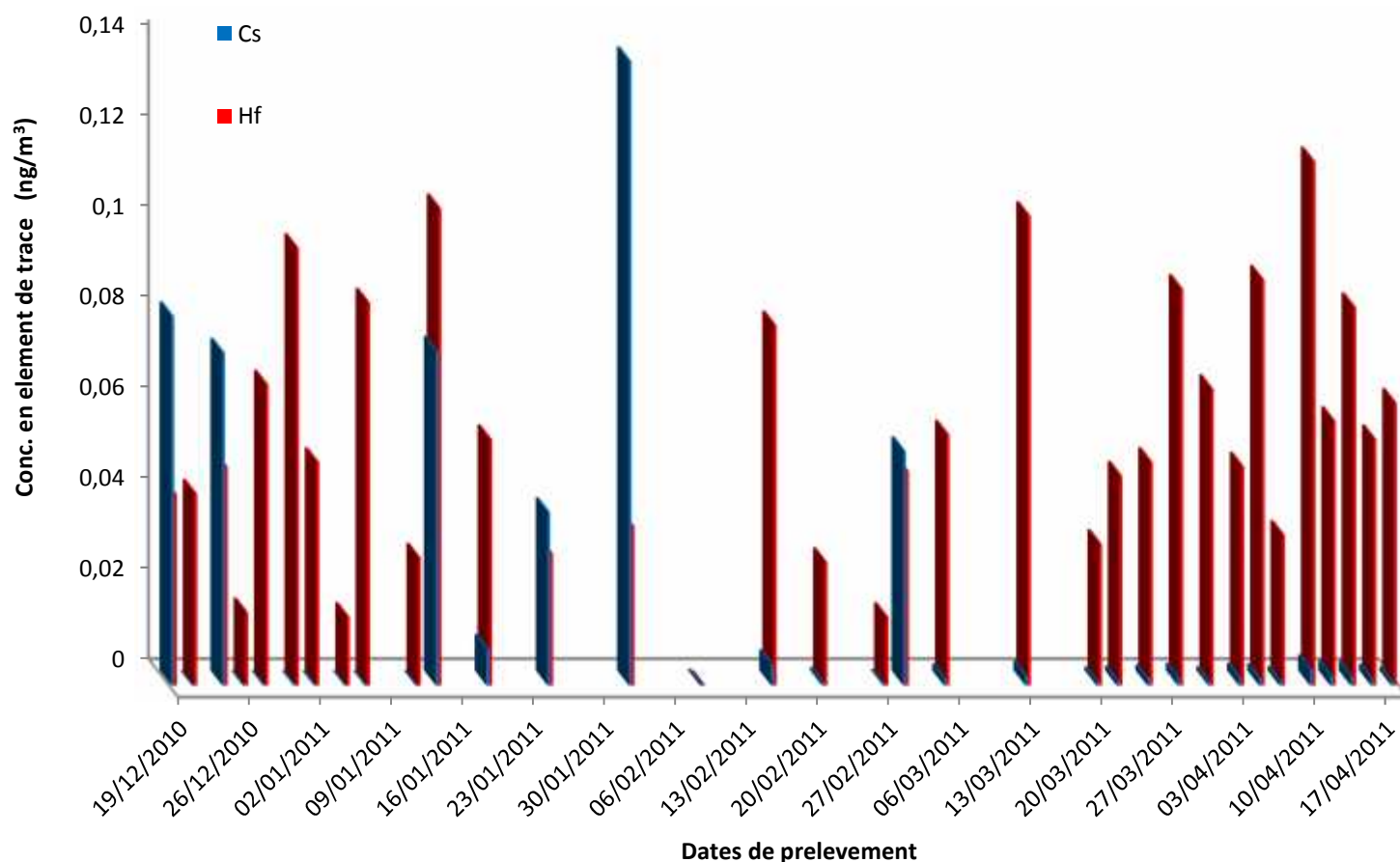
Les teneurs détectées en Manganèse varient de 18,46ng/m<sup>3</sup> obtenue le 26/06/2011 à 0,04ng/m<sup>3</sup> obtenue le 25/02/2011

D'après Sandrine 2005, la présence de cet élément dans l'air peut avoir trois origines : Terrigène, anthropique et marine. Pour le site étudié, le manganèse peut provenir du sol et également du trafic routier.

L'inhalation des poussières ou les fumées d'oxydes de manganèse provoquent une irritation intense avec alvéolite caustique. Les fumées d'oxyde de manganèse peuvent entraîner l'apparition de frissons, de fièvre, de sudation, de toux et nausées.

### 2.10. Le Hafnium et Césium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations du Césium et du Hafnium suivant les dates de prélèvement



**Figure 19:** Variation des concentrations du Césium et de Hafnium en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en césium sont faibles, la teneur maximale est de  $0,137 \text{ ng/m}^3$  obtenue le 02/02/2011 et la teneur minimale enregistrée est de  $0,0002 \text{ ng/m}^3$  obtenue le 27/02/2011.

L'homme peut être exposé au césium en respirant, en mangeant ou en buvant. Dans l'air, les niveaux en césium sont en général bas, mais du césium radioactif a été détecté, à un certain niveau, dans l'eau de surface et dans beaucoup de types d'aliments. La quantité de césium dans les aliments et les boissons dépend des émissions de césium radioactif des centrales nucléaires, principalement lors des accidents.

Les personnes travaillant dans l'industrie nucléaire peuvent être exposées à des niveaux de césium plus élevés mais, beaucoup de mesures de précaution peuvent être prises pour éviter ça.

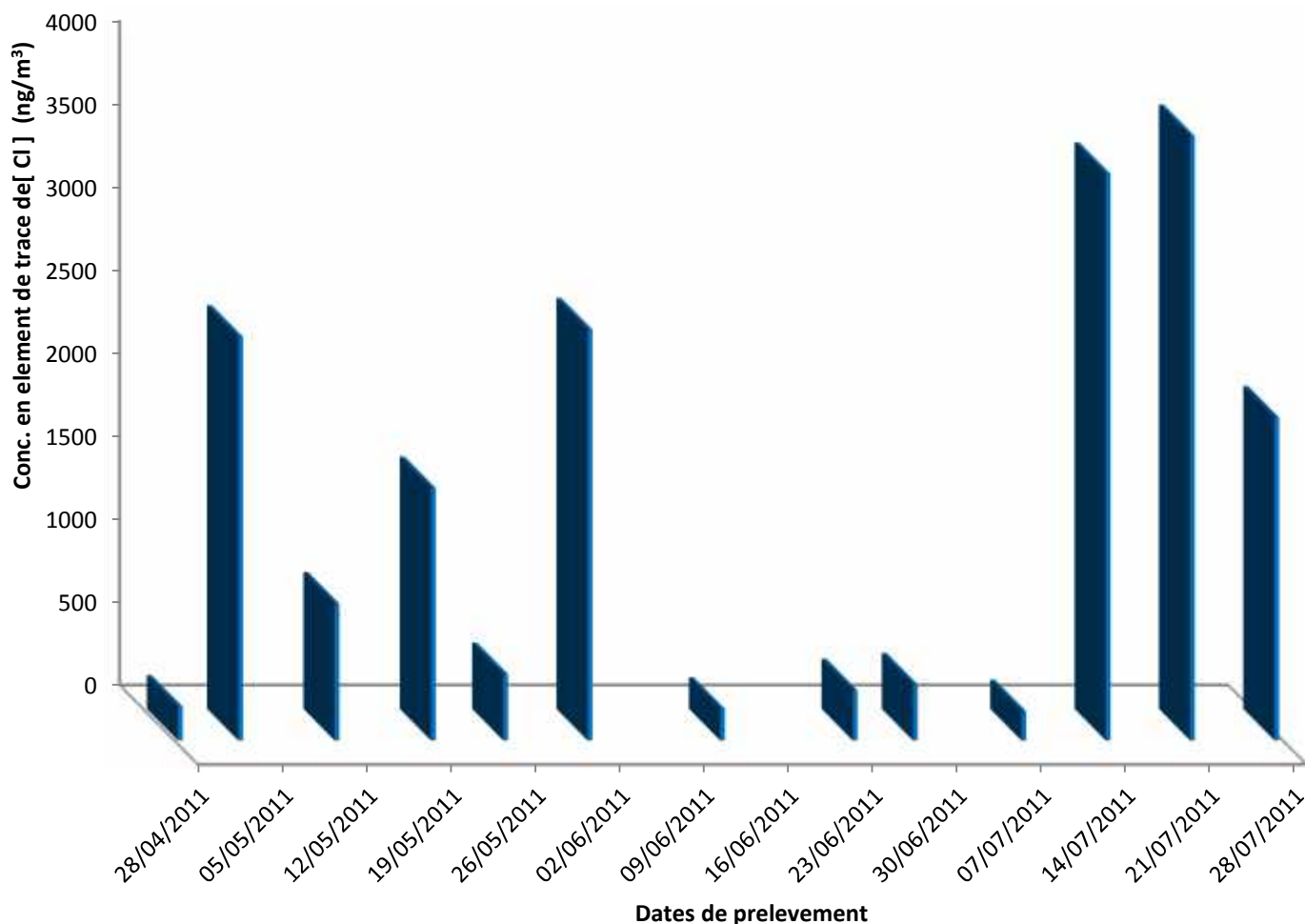
Les teneurs détectées en Hafnium sont très faibles, la teneur minimale enregistrée est de  $0.015\text{ng/m}^3$  obtenue le 27/02/2011 et une teneur maximale de  $0,115\text{ ng/m}^3$  obtenue le 10/04/2011.

Le métal d'hafnium ne pose pas normalement de problèmes mais tous les composés d'hafnium devraient être considérés comme toxiques bien que l'évidence initiale semble suggérer que le danger est limité. La poussière en métal présente un risque d'incendie et d'explosion. [1]

Le Hafnium est utilisé dans plusieurs domaines industriels, entre autre l'industrie nucléaire (*Alina K.P., 2011*) et comme la plupart des métaux, le Hafnium n'est pas réglementé dans l'air par des seuils à respecter

### 2.11. Le Chlore

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de Chlore en fonction des dates de prélèvement



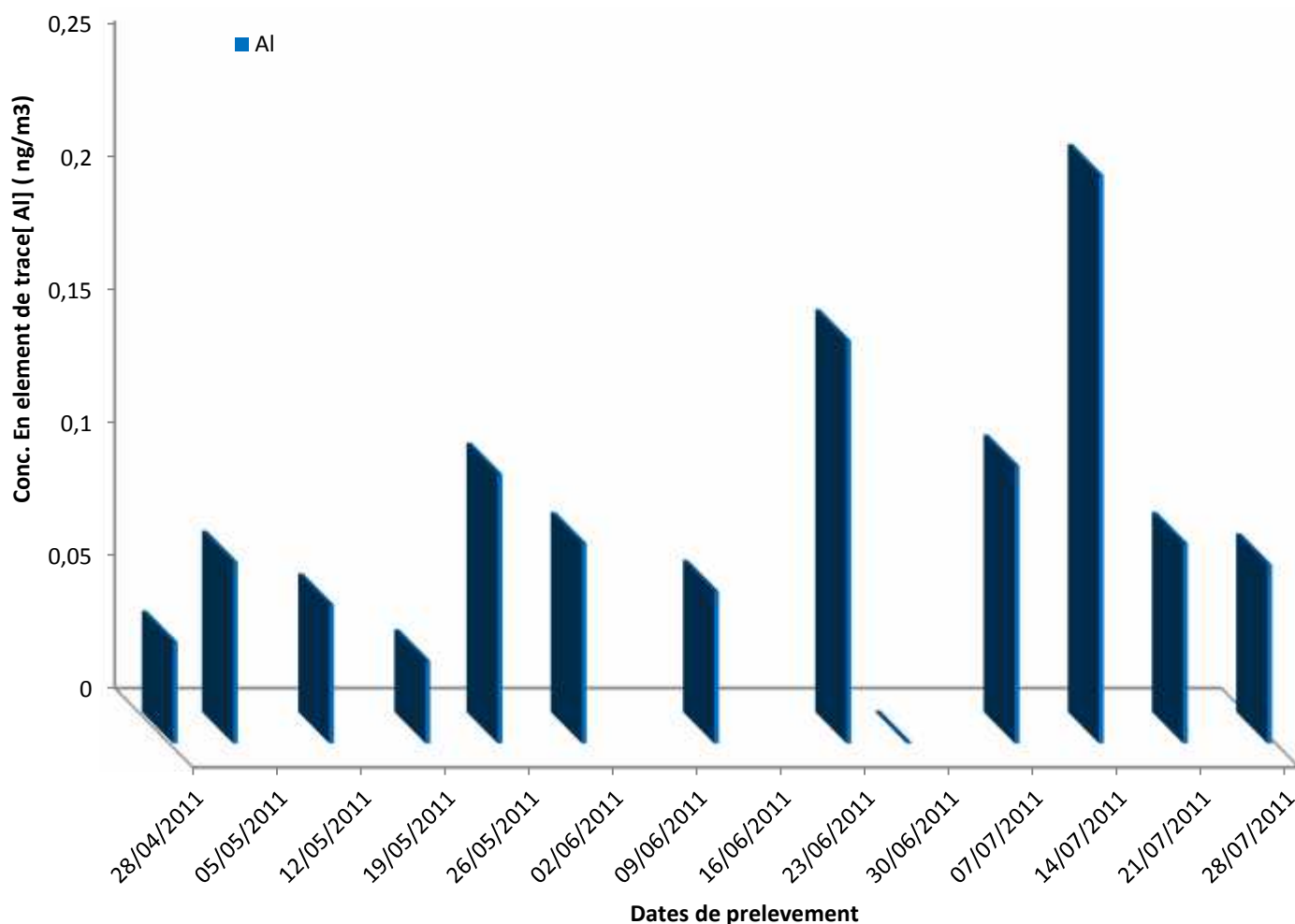
**Figure 20:** Variation des concentrations du Chlore en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Chlore varient de 3639,18ng/m<sup>3</sup> obtenue le 24/07/2011 à 3,48ng/m<sup>3</sup> obtenue le 28/01/2011.

Les effets du chlore sur la santé dépendent de la quantité de chlore présent, de la longueur et de la fréquence des expositions. Ils dépendent aussi de la santé de la personne ou des conditions environnementales lorsque l'exposition a lieu. Respirer de petites quantités de chlore pendant des périodes courtes affecte le système respiratoire. Cela peut aller de toux et de douleur à la poitrine à la rétention d'eau dans les poumons.[1]

### 2.12. L'Aluminium

La figure suivante présente l'évolution des concentrations de l'Aluminium en fonction des dates de prélèvement.



**Figure 21 :** Variation des concentrations de l'Aluminium en fonction de la date de prélèvement.

Les teneurs détectées en Aluminium varient de 0,0004ng/m<sup>3</sup> obtenue le 30/06/2011 et 1,13 ng/m<sup>3</sup> obtenue le 18/03/2011

L'aluminium est l'un des métaux. Les effets de l'aluminium sur l'environnement ont attiré notre attention, principalement à cause des problèmes d'acidification des sols. Dans un sol acide, l'aluminium peut être soluble et il possède alors une forte activité biocide. Les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre.

### 3. Comparaison des résultats avec certaines données publiées

**Tableau 10** : Comparaison des résultats obtenus avec les résultats de certaines villes du monde.

Ville Métaux (ng/m <sup>3</sup> )	Présente étude	Alger centre. (Khodja ; 2010)	Goteborg (Janhall and al ; 2002).	Copenhague. (Anoop and al ; 2007)		Hanoi (Michel et al ; 2005).	Chand- igarth. (Bandhu and al ; 2000).
<b>Cr</b>	3,65	35.45	/	271	645	3.8	180
<b>Fe</b>	1161,24	1380	1190	18.5	8.69	320	20277
<b>Sb</b>	0,89	2.17	/	123	40	/	/
<b>Br.</b>	2,59	/	9	/	/	/	/
<b>Sc</b>	0,21	/	/	/	/	/	/
<b>Hf</b>	0,05	0.067	/	/	/	/	/
<b>Ba</b>	/	/	/	703	540	/	/
<b>Ce</b>	3,47	/	/	8.5	4.5	/	/
<b>Co</b>	0,40	0.64	/	13	20.8	/	/
<b>Zn</b>	/	/	49	2.88	4.5	100	1209
<b>Se</b>	/	0.74	/	32.9	36.8	/	/
<b>Ca</b>	5,53	/	740	13.37	8.6	440	13695
<b>Mn</b>	4,24	/	20	295	198	24	718
<b>Cu</b>	/	/	16	168	1.56	7	30
<b>Pb</b>	/	/	/	/	/	83	1497
<b>Ni</b>	/	/	/	8.6	19.87	1.2	229
<b>V</b>	4,35	/	/	316	428	4.8	/
<b>Remarques</b>	-Site périurbain (TSP) (décembre 2010- juillet 2011).	-Site urbain (TSP). (Janvier - Décembre 2008)	-Site urbain (TSP). (Septembre et octobre 1999).	-Site de proximité (TSP) (Avril- Juin 2005)	-Site urbain (TSP). (Avril -Juin 2005).	-Site urbain (PM 2.5). (Mai- octobre 2000).	- Site urbain (TSP). (Eté 1996).



Dans un milieu méditerranéen, périurbain et peu industrialisé comme Draria, la comparaison des résultats avec des données similaires des autres villes du monde, montre que les moyennes des valeurs enregistrées à Draria restent relativement faibles par rapport à celles qui ont été enregistrés dans d'autres villes , excepté pour le Calcium et le Fer qui révèlent des moyennes supérieure à celle de Copenhague (Danemark) mais largement inférieure à celle de Chandigarh (Inde), et Hanoi (Vietnam) et de Göteborg (Suède).

Néanmoins vu l'explosion démographique que connaît ces 5 dernières années cette région et l'augmentation exponentielle de son trafic routier, l'étude et le suivi de la concentration en éléments de trace métalliques reste un facteur à évaluer de très près pour que les mesures soit prises avant qu'une contamination ne soit déclarée et agir pour que cette pollution atmosphérique d'un nouveau genre soit réglée à la source.

La connaissance du niveau de pollution par les métaux dans une grande agglomération telle que la wilaya d'Alger reste une chose délicate nécessitant le déploiement d'efforts considérables.

Les études antérieures (*khodja, 2010*) ; (*Berkouki, 2009*) ; (*Oucher, 2007*) en milieu urbain et périurbain, au niveau de cette wilaya, révèlent la présence et contamination des sites étudiés par des émissions automobiles qui sont dans la plupart des cas chargées par les métaux lourds.

#### **4. Etude de corrélation entre les éléments traces métalliques**

La matrice de corrélation de Pearson entre les différents couples de métaux étudiés est représentée dans le tableau 10 et a été obtenue grâce au logiciel IBM SPSS. Cette matrice nous donne les coefficients de corrélation (ou coefficient de Pearson) suivant la méthode de l'analyse en composante principale.

La corrélation est établie si le coefficient est supérieur à 0.5 et plus le coefficient se rapproche de 1 plus elle devient significative.

En analysant cette matrice, nous avons constaté quatorze (14) couples d'éléments avec un coefficient de corrélation supérieur à 0.85, ce qui confirme que la corrélation entre ces couples d'éléments est très significative.

Afin d'éviter l'encombrement du document, nous avons choisi de prendre les couples d'éléments avec un coefficient supérieur à 0.85 ; ce choix est personnel et ne répond à aucune indication dans la bibliographie, car il faut savoir que, l'on a obtenu trente sept (37) couples d'éléments avec un coefficient supérieur à 0.7 et bien plus, supérieur à 0.5.

**Tableau11:** matrice des coefficients de corrélation de Pearson pour différents ETM

	Ca	Br	Sb	La	K	Yb	Lu	Na	Fe	Cr	Sc	Co	Ce	Rb	Ta	Cs	Hf	Se	Zn
Ca	1	0,46	0,83	0,33	0,47	0,69	0,63	-0,37	0,88	0,64	0,64	0,83	0,45	0,83	-0,20	-0,22	0,86	0,27	0,51
Br		1	0,17	0,50	0,25	0,32	0,24	0,15	0,45	0,69	0,49	0,51	0,47	0,31	-0,22	-0,07	0,50	0,29	0,25
Sb			1	0,29	0,17	0,53	0,71	-0,56	0,76	0,58	0,56	0,71	0,39	0,71	-0,01	-0,30	0,66	0,22	0,70
La				1	0,38	0,55	0,73	0,04	0,60	0,74	0,84	0,59	0,91	0,51	0,20	0,07	0,60	0,15	0,81
K					1	0,82	0,37	-0,41	0,71	0,40	0,70	0,66	0,56	0,70	0,00	-0,16	0,71	-0,18	0,26
Yb						1	0,66	-0,32	0,86	0,49	0,81	0,89	0,59	0,96	-0,17	-0,34	0,80	-0,16	0,56
Lu							1	-0,23	0,80	0,72	0,87	0,76	0,79	0,71	0,17	0,08	0,77	-0,00	0,84
Na								1	-0,47	-0,27	-0,36	-0,31	-0,26	-0,39	-0,31	0,37	-0,41	0,07	-0,36
Fe									1	0,78	0,89	0,94	0,73	0,90	-0,00	-0,24	0,97	0,10	0,71
Cr										1	0,89	0,74	0,82	0,54	0,17	0,08	0,79	0,43	0,68
Sc											1	0,86	0,92	0,80	0,11	-0,04	0,85	0,05	0,81
Co												1	0,63	0,91	-0,25	-0,18	0,86	0,10	0,65
Ce													1	0,56	0,33	0,10	0,75	0,06	0,78
Rb														1	-0,21	-0,32	0,82	-0,02	0,62
Ta															1	0,01	0,06	0,12	0,20
Cs																1	-0,19	0,17	-0,16
Hf																	1	0,09	0,64
Se																		1	0,09
Zn																			1

R: 0, 7&gt;R&gt;0, 5

R: 0, 85&gt;R&gt;0, 7

R: R&gt;0,85

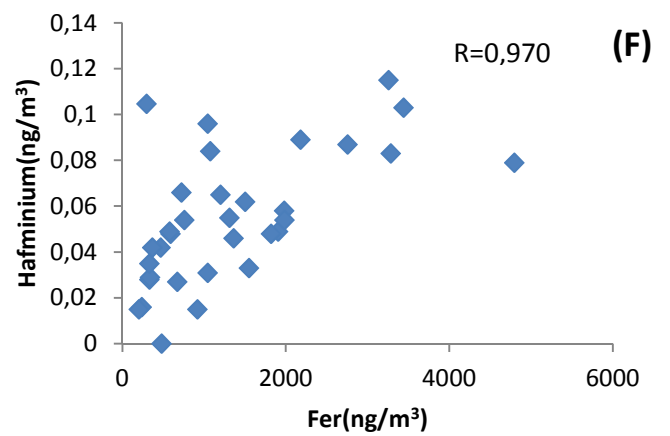
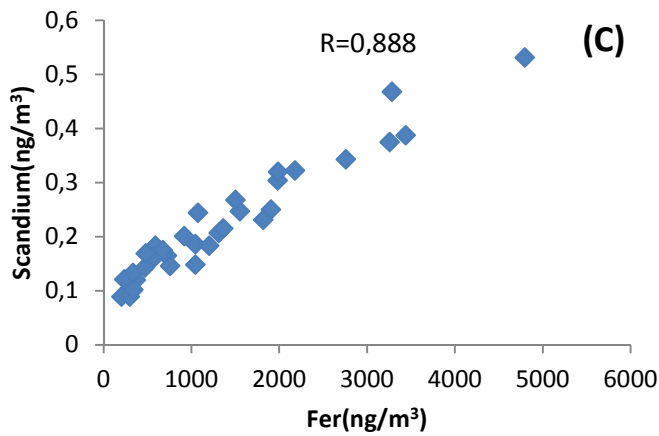
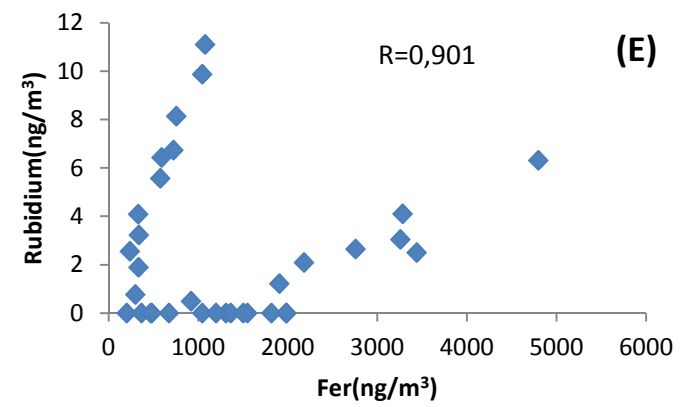
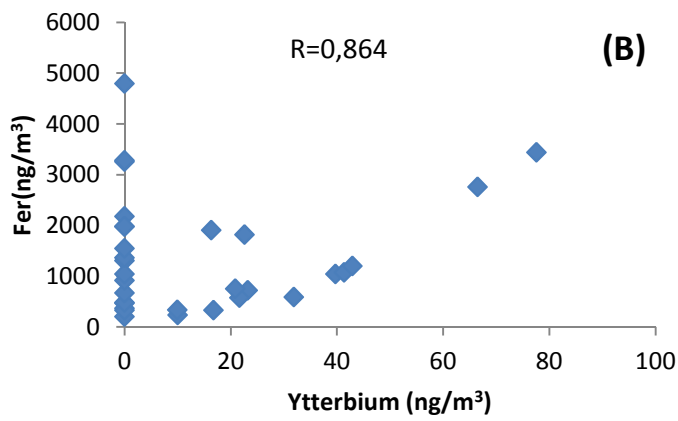
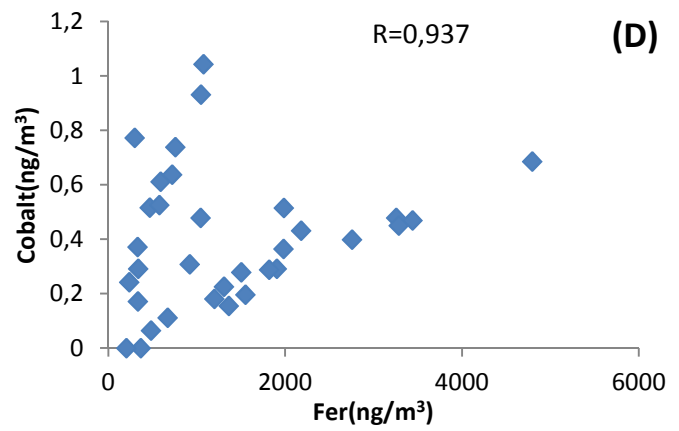
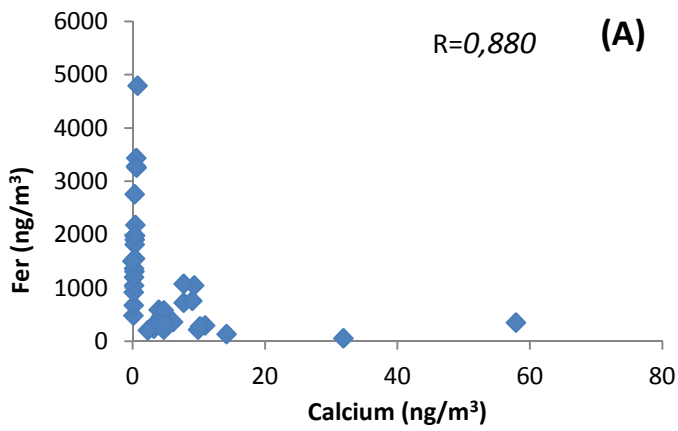
Le tableau suivant résume les corrélations les plus significatives c'est-à-dire avec un coefficient de corrélation supérieur à 0.85.

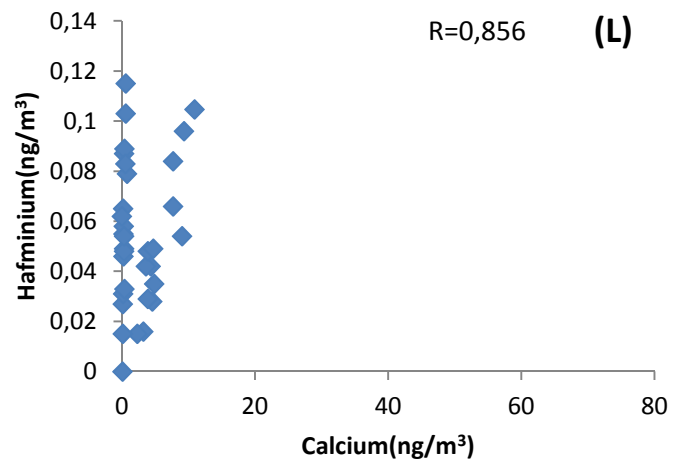
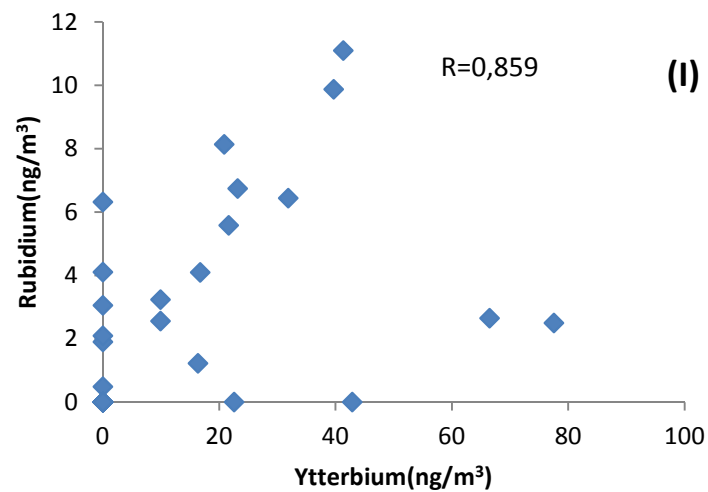
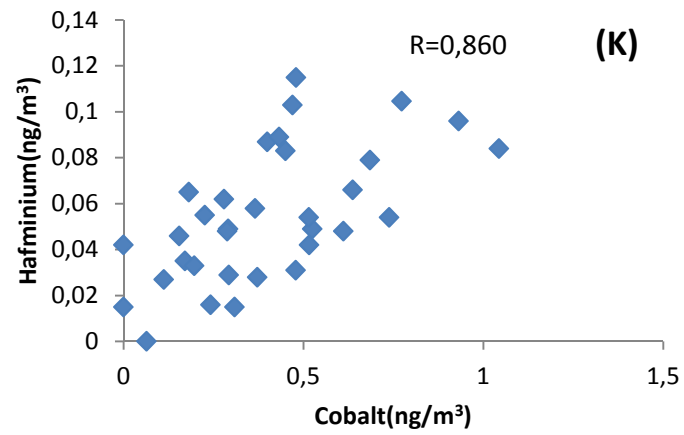
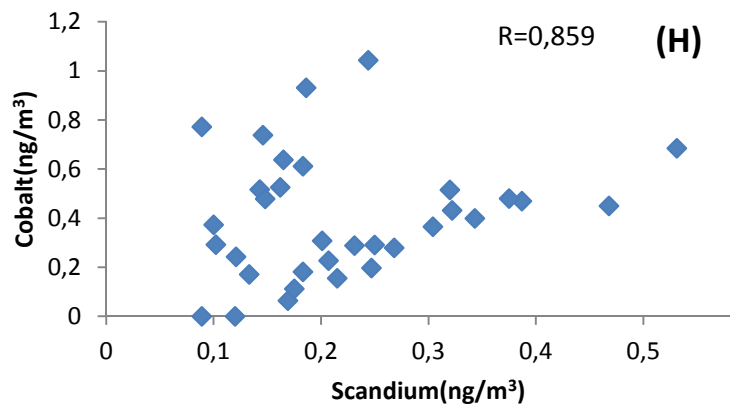
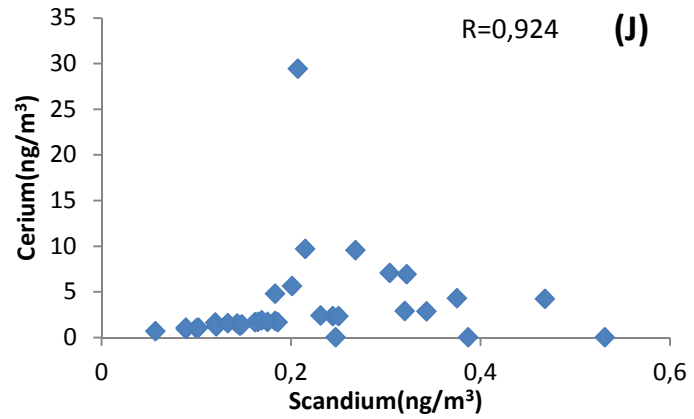
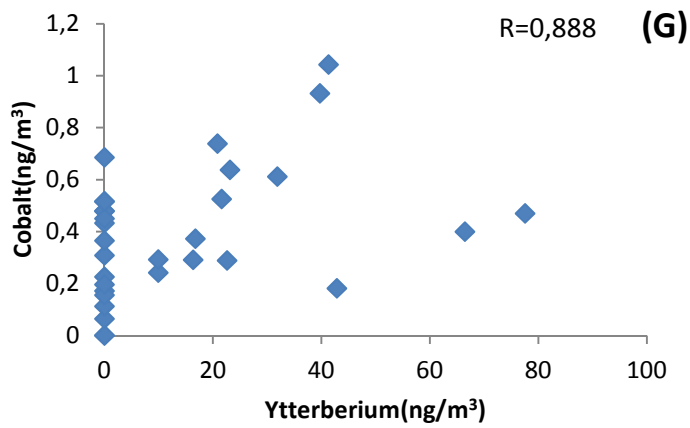
**Tableau12** : couples d'éléments avec un coefficient de corrélation supérieur à 0.85

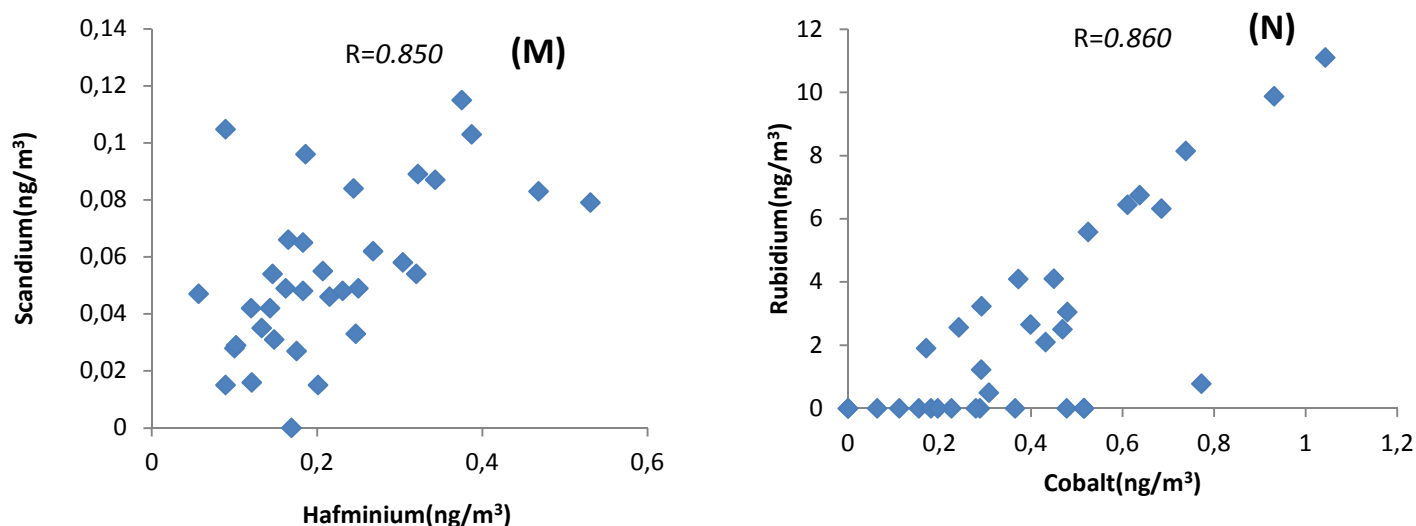
	<i>Fe</i>	<i>Ca</i>	<i>Yb</i>	<i>Sc</i>	<i>Co</i>	<i>Rb</i>	<i>Hf</i>	<i>Ce</i>
<i>Fe</i>	1,000	0,880	0,864	0,888	0,937	0,901	0,970	
<i>Ca</i>		1,000					0,856	
<i>Yb</i>			1,000		0,888	0,958		
<i>Sc</i>				1,000	0,859		0,850	0,924
<i>Co</i>					1,000	0,860	0,860	
<i>Rb</i>						1,000		
<i>Hf</i>							1,000	
<i>Ce</i>								1,000

Afin d'étudier le type de corrélation ou le modèle de régression de ces couples d'éléments nous avons représenté en nuage de points, les concentrations des éléments en  $\text{ng/m}^3$  et nous avons obtenue les graphiques ci-dessous.

Les figures de corrélation qui en résultent, contiennent les facteurs de corrélation entre chaque couple de métaux qui permet de mettre en évidence les graphiques suivants :







**Figure 22:** nuages de régression de différents couples d'ETM avec un coefficient de corrélation supérieure à 0,85. (A) Fe/Ca ; (B) Fe /Yb ; (C) Sc/Fe; (D) Co/Fe; (E) Ru/Fe; (F) Hf/Fe; (G) Co/Yb; (H) Co/Sc; (I) Ru/Yb; (J) Ce/Sc; (K) Hf/Co; (L) Hf/Ca.

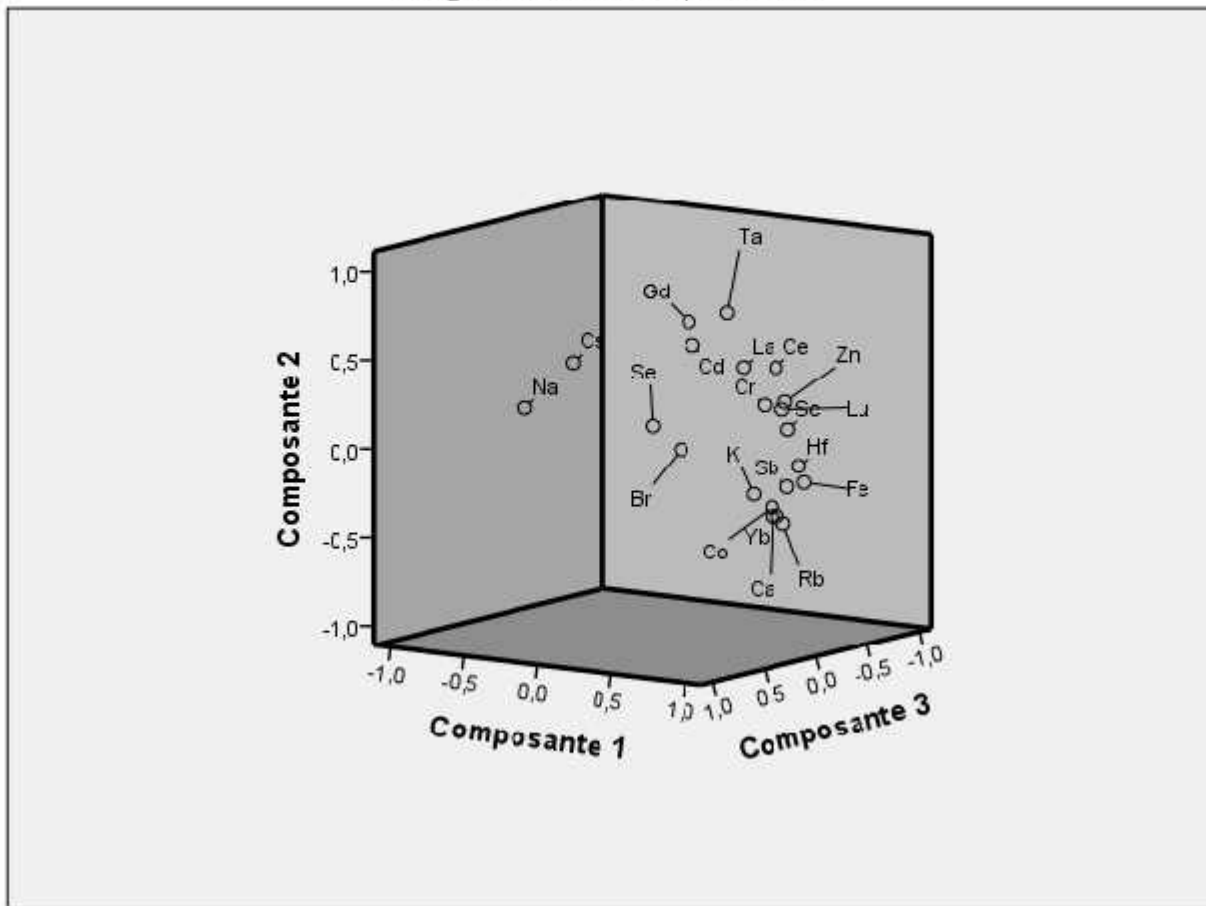
En analysant ces différentes représentations, nous constatons que chaque modèle est différent et obéit à une loi bien déterminée. Comme exemple, nous remarquons une régression linéaire évidente représentée par les deux graphes (C) ; (N) qui correspondent respectivement aux couples Sc/Fe ; Rb/Co.

Concernant l'étude de ces données et l'établissement de loi de régression prévisionniste, les résultats obtenus sont insuffisants, car pour établir un modèle de prévision représentatif nous avons besoin de données expérimentales sur deux (2) ans d'échantillonnage au minimum. Néanmoins, nous constatons qu'il existe d'assez bonnes corrélations entre les couples d'éléments: Fe/Yb, Fe/Ca, Fe/Co, Fe/Rb, Fe/Hf, Fe/Sc., ainsi que pour les couples Ca/Hf, Yb/Co, Yb/Rb, Sc/Co, Sc/Hf, Co/Rb et Co/Hf.

Ces constatations peuvent être interprétées comme suit :

La majorité des éléments proviennent du trafic routier qui est leur principale source d'émission. Le fer et le calcium proviennent majoritairement de l'écorce terrestre (érosion éolienne). Cette source commune explique les corrélations constatées.

## Diagramme de composantes



**Figure 23 :** Diagramme de composantes

Le diagramme ci-dessus nous montre les groupes d'éléments qui ont une forte corrélation en eux, c'est-à-dire qu'il faut raisonner en terme de distance (ou de rayon) et de plan.

Pour un même plan, plus la distance entre éléments est proche, plus la corrélation augmente entre eux et donc plus le rayon de corrélation est restreint.

Ce qu'il faut savoir c'est que l'analyse en composante principale qui concerne nos résultats a donnée cinq(5) composantes principales ou facteurs de corrélation.

Dans cette étude, nous nous sommes limités seulement à un diagramme relatif aux trois (3) premières composantes.

Enfin, et grâce à ce travail, nous avons démontré l'existence réelle de corrélation entre les émissions de certains éléments de trace métalliques.

***Conclusion***

***Générale***



## Conclusion générale

*Dans ce mémoire, nous avons identifié et quantifié 25 éléments : Ca, Br, Sb, La, K, Yb, Lu, Na, Fe, Cr, Sc, Co, Ce, Rb, Ta, Cs, Hf, Se, Zn, Cd, Gd, V, Mn, Cl, Al dans des échantillons d'air provenant de la région de Draria, proche banlieue d'Alger (Algérie), en utilisant la méthode relative d'Analyse par Activation Neutronique Instrumentale (INAA).*

*La pollution atmosphérique sous toutes ses formes est un problème très complexe : les sources et les émissions doivent être identifiées, les méthodes analytiques doivent être validées, les risques doivent être évalués et les émissions doivent être contrôlées.*

*L'objectif de notre travail est de connaître la qualité de l'air ou la quantité totale de pollution produite par le trafic routière en particulier et l'activité humaine en general au niveau du site choisi, et chercher des corrélations entre les différentes émissions; à fin de prendre des mesures pour réduire les risques que pose cette pollution atmosphérique d'origine automobile sur notre santé.*

*Toutefois, cette source de pollution est toujours préoccupante parce que le nombre de véhicules sur nos routes et autoroutes ne cesse d'augmenter au fil des années .*

*Nous avons utilisé, en fonction de l'objectif fixé et les moyens disponibles un dispositif d'échantillonnage d'air sur des filtres de nitrate de cellulose. La collection des échantillons a été effectuée durant une période de sept (7) mois. Pour aspirer l'air, le dispositif utilisé est un appareil LVS "Low Volume Sampler", avec un débit plus ou moins constant de  $1\text{m}^3/\text{h}$  (petites variations dues au colmatage).*

*L'étude que nous avons effectuée au sujet de la qualité dans l'air à Draria, prouve que la pollution atmosphérique par les TSP n'a pas encore atteint des niveaux inquiétants ; mais si des décisions adéquates et adaptées à la topographie de ce lieu ne sont pas prises, alors on pourra craindre une contamination à plus grande échelle à moyen et à long terme, En effet nous constatons que seulement 7,86 % des échantillons prélevés dépassent la valeur cible  $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  contrairement à 76 % pour Alger centre (Khodja Z., 2010), aussi on remarque que toutes les valeurs enregistrées ne dépassent pas la valeur limite ( $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sur la base de ces résultats, on constate qu'à Draria, la pollution par les TSP est tolérable et n'est pas inquiétante avec une concentration moyenne de  $34,83\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ .*

*En outre, l'étude que nous avons menée montre l'existence d'émissions d'éléments de traces métalliques dans l'atmosphère, aux concentrations très variables. En effet, les niveaux de concentrations obtenues en  $\text{ng}/\text{m}^3$  expriment la sensibilité de la méthode d'Analyse par Activation Neutronique Instrumentale.*

*Enfin, on peut dire que la méthode d'Analyse par Activation Neutronique Instrumentale est une méthode très pratique pour le dosage des éléments de trace métalliques. Son caractère multi élémentaire et non destructif permettent son application de façon routinière, d'où le but de ce travail.*

*Concernant l'étude des corrélations et l'établissement de loi de régression prévisionniste pour les éléments analysés, les résultats obtenus sont insuffisants, car pour établir un modèle de prévision représentatif nous avons besoin de données expérimentales sur deux (2) ans d'échantillonnage au minimum. Néanmoins, nous constatons qu'il existe d'assez bonnes corrélations entre les couples d'éléments: Fe/Yb, Fe/Ca, Fe/Co, Fe/Rb, Fe/Hf, Fe/Sc, ainsi que pour les couples Ca/Hf, Yb/Co, Yb/Rb, Sc/Co, Sc/Hf, Co/Rb et Co/Hf.*

*Ces constatations peuvent être interprétées comme suit :*

*La majorité des éléments proviennent du trafic routier qui est leur principale source d'émission ainsi que le phénomène de resuspension du sol (érosion éolienne). Cette source commune explique les corrélations constatées.*

*Pour conclure, il est à noter que l'absence relative des valeurs de références pour la majorité des éléments de traces métalliques analysés, nous met dans l'incapacité et l'impossibilité d'évaluer l'importance de cette pollution atmosphérique, néanmoins malgré les seuils d'alerte non atteints surtout par les TSP, des mesures et décisions doivent être prises visant à protéger la santé humaine et l'environnement, en l'occurrence la réduction de la pollution de l'air d'origine automobile devenue ces dernières années la première cause de la pollution atmosphérique au niveau des zones urbaines et même périurbaines.*

*En perspectives, des futurs travaux de recherche et efforts pourraient être orientés vers :*

- *L'analyse des échantillons provenant des milieux contaminés en étudiant la teneur d'éléments toxiques en milieux industriels contaminés.*
- *Une caractérisation physico-chimique plus fine des polluants et leur éventuelle interaction avec les allergènes biologiques est nécessaire.*
- *Des travaux harmonisés de cartographie fine sont nécessaires afin d'identifier les portions du territoire national où les populations sont affectées par des niveaux de pollution atmosphérique les plus élevés.*
- *L'élaboration et la mise en œuvre de la réglementation en matière de qualité de l'air ambiant. Cette réglementation comporte des prescriptions techniques et des normes d'émissions des rejets pour les sources fixes et les véhicules automobiles. De plus, chaque pays doit établir ses propres valeurs limites pour les concentrations des éléments considérés dangereux.*
- *Le développement de nouvelles approches, pour faire la collecte des échantillons peut être envisagée et les résultats trouvés pourraient être comparés avec un possible impact environnemental.*

- *La mise en œuvre de politiques de prévention, le développement d'une plate forme de modélisation est plus que nécessaire : La démarche consiste à acquérir des données utiles et suffisamment précises pour développer et tester des modèles à partir des campagnes de mesures in situ couvrant l'ensemble des situations atmosphériques et dont les plus caractéristiques servent de base à des simulations.*
- *Des études sur les effets à long terme de la pollution atmosphérique accompagnées d'évaluation d'impact sanitaire sont nécessaires .Les études toxicologiques et épidémiologiques sur des populations particulièrement fragiles doivent être envisagées pour connaître le rôle exact de la pollution atmosphérique dans l'accroissement du nombre de maladie chronique.*
- *Travailler en étroite collaboration avec les constructeurs automobiles pour le respect et la normalisation de bonnes pratiques de fabrication pour la gestion et la protection de l'environnement.*

## Références bibliographique

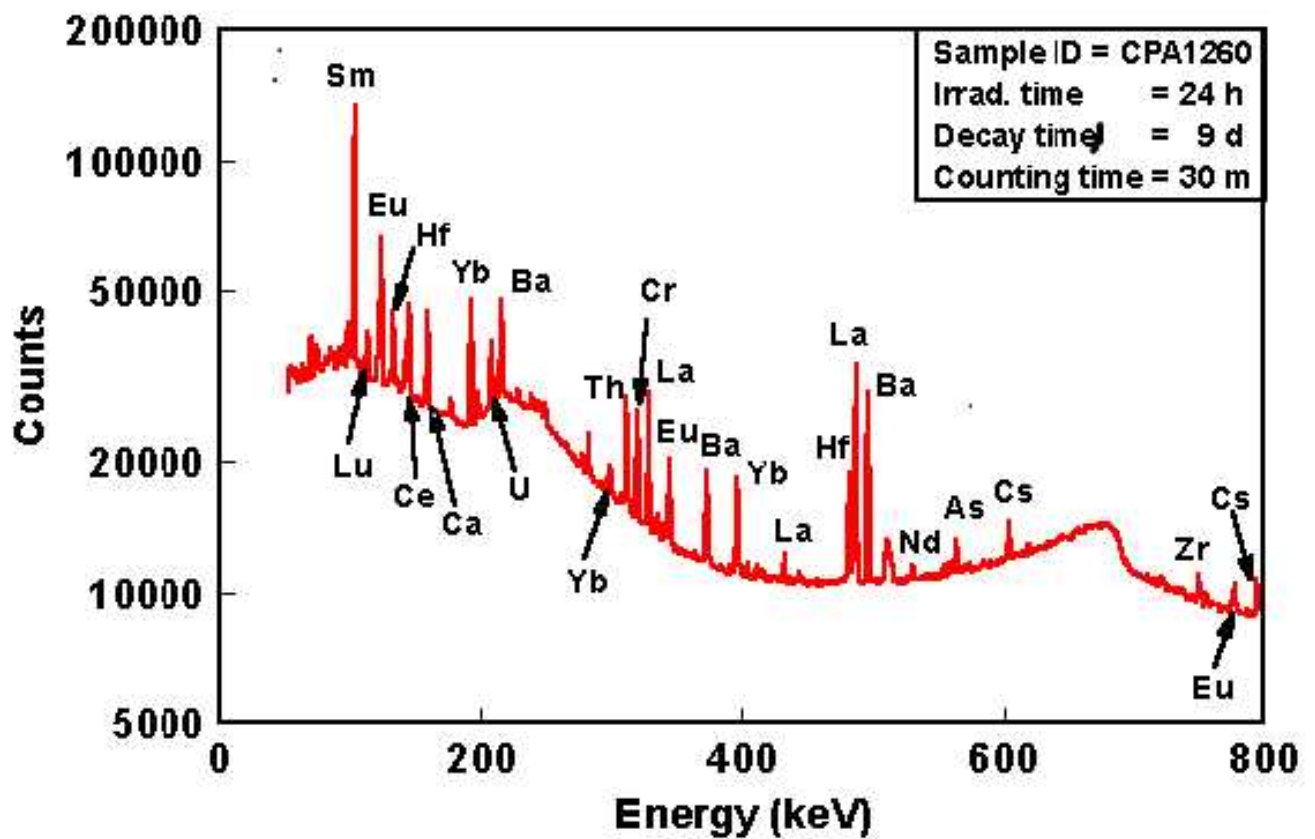
### Sites consultés

- [1] : [http://www.iauidf.fr/fileadmin/Etudes/etude\\_171/nr\\_environnement\\_et\\_sante\\_286\\_pollution\\_des\\_sols.pdf](http://www.iauidf.fr/fileadmin/Etudes/etude_171/nr_environnement_et_sante_286_pollution_des_sols.pdf)
- [2] : [http://www.univ-paris13.fr/giscop/IMG/pdf/RF\\_GISCOP\\_post-SUMER\\_avril09.pdf](http://www.univ-paris13.fr/giscop/IMG/pdf/RF_GISCOP_post-SUMER_avril09.pdf)
- [3] : [http://www-loa.univ-lille1.fr/Accueil/fr/science\\_pour\\_tous\\_fichiers/fete\\_dela\\_science\\_fichiers/fetedelascience2004-aerosol.pdf](http://www-loa.univ-lille1.fr/Accueil/fr/science_pour_tous_fichiers/fete_dela_science_fichiers/fetedelascience2004-aerosol.pdf)
- [4] : [http://www.senat.fr/rap/l00-261/l00-261\\_mono.html](http://www.senat.fr/rap/l00-261/l00-261_mono.html)
- [5] : <http://www.citepa.org/publications/index.php3>
- [6] : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution\\_de\\_l%27air](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l%27air)
- [7] : <http://www.chu-rouen.fr/ssf/prod/polluantsatmospheriques.html>

### Ouvrages consultés

- **Benoit F., 2000.** Détermination de la composition chimique des cendres provenant de centrales thermiques au pétrole par activation neutronique. Mémoire de maîtrise de l'énergie des sciences appliquées, Ecole Polytechnique de Montréal.
- **Birmili W.; Allen A. G.; Bary F. et Harrison R. M., 2006.** Trace metal concentrations and water solubility in size-fractionated atmospheric particles and influence of road traffic. *Env. Sci. Tech.*, 40, 1144-1153.
- **BLIEFERT et PERRAUD, 2001.** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol. 1<sup>ère</sup> Ed., Boeck Université, Bruxelles, 477p.
- **BOULABROUAT et FATMA Z., 2007.** Analyse des Métaux Lourds par Absorption Atomique et par XRF en Milieu Urbain (Bab-El-Oued et Tizi-Ouzou). Mémoire de fin d'Etudes DEUA en Chimie Industrielle Option Génie de l'Environnement, Univ STHB, Alger, 82P.
- **BOURIER J.P. et KISS A., 2004.** Droit international de l'environnement
- **Bruno C., 2005.** La pollution atmosphérique par les métaux lourds. Ed. EPE Science, ADEME, France.
- **BLIEFERT C et Al., 2001.** BLIEFERT et PERRAUD, 2001. Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol. 1<sup>ère</sup> Ed., Boeck Université, Bruxelles, 477p.
- **Chaboun et al., 2007;** Chaboun J., Salmon J.M., Viallet P., "Are histidine rings the main potential sites of the interaction between proteins and fluorescent MG<sup>2+</sup> indicator Mag-Indo-1?", *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 1995.
- **Delmas R.; Gérard M. et Vincent- H. P., 2005.** Physique et chimie de l'atmosphère. Editi<sup>2</sup>on belin. Paris, France.
- **De Soete D., Gijbels R. and Hoste J., 1972.** Neutron Activation Analysis. *Chemical analysis*, Wiley- Interscience, vol.34:311.

- **Firestone RB and Shirley VS (Eds.),1999.** *Table of Isotopes 8 th Edition–2 Volumes with CD-ROM (John Wiley, NY)*
- **FONTAN J., 2003.** *Les Pollutions de l'Air les Connaitre pour les Combattre. 2<sup>ème</sup> Ed., Vuibert, Paris, 211p.*
- **Gilmore G. R.,2008.** *Practical Gamma-ray Spectrometry – 2nd Edition John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-86196-7.*
- **HINDS W C., 1982.** *Aerosol Technology. Ed. WJ., USA., 424p.*
- **IMACHMACHINE R., 2007.** *Evaluation de la Pollution Atmosphérique par les Métaux Lourds en Milieu Urbain. Thèse d'Ingénieur, Univ. Boumerdès.*
- **Khodja Z.,2010.** *Contribution à l'étude de la pollution de l'air par les métaux lourds en utilisant la méthode d'Analyse par Activation Neutronique. Mémoire de Magister, ENP, Alger.*
- **LE BOUFFANT L., 1988.** : *Pollution Atmosphérique par les Aérosols Solides et Liquides. Techniques de l'Ingénieur, Analyses Chimiques et Caractérisation « Mesure et Analyse ».5000p.*
- **MARCHEOINE A., 1997.** *Transport, énergie, environnement : modes de vie et comportements. Note ADEME, paris.*
- **Matteini et al. 1991.** *Pietro Porcinai: Architetto Del Giardino e Del Paesaggio de Milena Matteini et etal (Relié - 31 décembre 1991).*
- **Norme ISO 9885,1993.** *Air ambiant, dosage du plomb dans les particules d'aérosols collectées sur des filtres. France.*
- **OIKAWA K., 1999.** *Analyse des Echantillons Atmosphériques, Centre de Recherche Nucléaire, Alger, 32p.*
- **RABAI Y. et BOURAHLA M., 2006.** *Evaluation de la Pollution Atmosphérique par les Particules en Suspension (TSP) dans la ville de Tizi-Ouzou. Mémoire de fin d'Etude TS en Protection de l'Environnement. Centre de Formation Professionnelle Ouagnoune, Tizi-Ouzou .105p.*
- **Sandrine G.Laurence G ; Cathrine R. ; Sébastien L. ; Rémi L. ; Jean-Louis C,2000.**
- **Sroor A, Walley El-Dine N, El-ShershabyAand Abdel-Haleem AS,2002.** *Appl. Radiat. Isotopes 52: 147.*
- **Veschanbre S., 2006.** *Caractérisation et quantification des éléments traces métalliques dans les dépôts et les particules atmosphériques de la vallée d'Apse (Pyrennes). Mise en place d'indicateurs de la qualité de l'air liés au trafic routier. thèse doctorale, université de Pau et de pays de l'Aour.*
- **ZeevB .Alfassi.,1990.** *Activation Analysis by Nuclear Reactors Editor Zeev B. Alfassi. ISBN 0-8493-4584-7 (v. 2) Pp: 4-7*

*Annexes**Exemple de spectre*

### *Exemple de spectre de standard GSV 4 format RPT*

ORTEC g v - i ( 61) Wan32 G53W2.12 20/05/2012 11:08:25 Page 1

DPAN/CRND                      Spectrum name: 06100834a.An1

#### *Sample description*

GSV4 N°34, ech: 59.6 mg;

Spectrum Filename: C:\User\Spectres\EX061008\SP061008a\06100834a.An1

#### *Acquisition information*

Start time:                      06/05/2012 03:16:27

Live time:                        5000

Real time:                        5010

Dead time:                        0.20 %

Detector ID:                      1

#### *Detector system*

DTNLABAAN MCB 337

#### *Calibration*

Filename:                        06100834a.Spc

eu152

#### *Energy Calibration*

Created:                        17/01/2012 08:35:34

Zero offset:                      0.229 keV

Gain:                            0.500 keV/channel

Quadratic: -1.443E-08 keV/channel<sup>2</sup>

#### Efficiency Calibration

Created: 08/09/2011 16:19:11

Knee Energy: 0.00 keV

Above the Knee: None      Uncertainty = 0.00 %

Below the Knee: None      Uncertainty = 0.00 %

#### Library Files

Main analysis library: NAA MP&LP.Lib

Library Match Width: 0.500

#### Analysis parameters

Analysis engine: Wan32 G53W2.12

Start channel: 20 ( 10.23keV )

Stop channel: 4048 ( 2023.35keV )

Peak rejection level: 100.000%

Peak search sensitivity: 3

Sample Size: 9.3000E+01

Activity scaling factor:  $1.0000E+00 / ( 1.0000E+00 * 9.3000E+01 ) =$   
1.0753E-02

Detection limit method: Traditional ORTEC method

Random error: 1.0000000E+00

Systematic error: 1.0000000E+00

Fraction Limit: 0.000%

Background width: best method (based on spectrum).

Half lives decay limit: 12.000

ORTEC g v - i ( 61) Wan32 G53W2.12 20/05/2012 11:08:25 Page 2

DPAN/CRND      Spectrum name: 06100834a.An1



Activity range factor: 2.000

Min. step backg.energy 0.000

Multiplet shift channel 2.000

Corrections	Status	Comments
-------------	--------	----------

Decay correct to date: NO

Decay during acquisition: NO

Decay during collection: NO

True coincidence correction: NO

Peaked background correction: NO

Absorption (Internal): NO

Geometry correction: NO

Random summing: NO

Energy Calibration

Normalized diff: 0.1686

\*\*\*\*\* IDENTIFIED PEAK SUMMARY \*\*\*\*\*

Nuclide	Peak	Centroid	Background	Net Area	Intensity	Uncert	FWHM
---------	------	----------	------------	----------	-----------	--------	------

Channel	Energy	Counts	CountsCts/Sec	1 Sigma	%	keV
---------	--------	--------	---------------	---------	---	-----

---

Sm153	138.93	69.67	2637.	175.	0.035	42.10	0.981D
J-131	159.96	80.18	3006.	63.	0.013	124.19	0.992D
EU-155	172.69	86.54	3116.	109.	0.022	72.74	0.998D
CD-109	175.67	88.03	2898.	48.	0.010	160.09	1.000D
Nd-147	181.81	91.11	2770.	73.	0.015	102.56	1.003D
GD-153	194.47	97.43	2437.	80.	0.016	87.59	1.009D
NP-239	198.71	99.55	2437.	30.	0.006	232.83	1.012D
TA-182	199.82	100.11	2411.	61.	0.012	113.80	1.012D
Sm153	205.97	103.18	2676.	563.	0.113	13.67	1.015D

---

<i>GD-153</i>	205.97	103.18	2436.	0.	0.000	15.59	1.166D
<i>NP-239</i>	207.13	103.76	2710.	133.	0.027	56.06	1.016D
<i>EU-155</i>	210.22	105.31	2382.	9.	0.002	787.93	1.017D
<i>NP-239</i>	211.86	106.12	2157.	38.	0.008	173.32	1.018D
<i>Yb-169</i>	219.17	109.78	2044.	12.	0.002	552.71	1.022D
<i>LU-177</i>	225.51	112.95	1974.	43.	0.009	148.49	1.025D
<i>YB-175</i>	227.22	113.81	1951.	28.	0.006	223.43	1.026D
<i>NP-239</i>	233.62	117.00	1881.	35.	0.007	177.39	1.029D
<i>SE-75</i>	241.85	121.12	1817.	30.	0.006	203.97	1.034D
<i>EU-152</i>	243.19	121.78	1835.	35.	0.007	172.41	1.034D
<i>EU-154</i>	245.76	123.07	2236.	0.	0.000	1000.00	1.036D
<i>Ba-131</i>	247.23	123.81	1717.	503.	0.101	12.48	1.036D
<i>HF-181</i>	265.67	133.02	1192.	63.	0.013	77.94	1.046D
<i>W-187</i>	268.12	134.25	1557.	66.	0.013	86.00	1.047D
<i>SE-75</i>	271.63	136.00	1278.	84.	0.017	61.18	1.049D
<i>MO-99</i>	280.65	140.51	1192.	77.	0.015	64.47	1.053D
<i>FE-59</i>	284.94	142.65	1352.	104.	0.021	51.09	1.055D
<i>CE-141</i>	290.52	145.44	1214.	258.	0.052	20.09	1.058D
<i>TA-182</i>	303.51	151.94	1465.	180.	0.036	52.62	2.231s
<i>Yb-169</i>	354.08	177.21	797.65.	0.013	62.70	1.090D	
<i>MO-99</i>	361.80	181.07	671.	44.	0.009	84.37	1.094D
<i>FE-59</i>	383.71	192.02	796.	102.	0.020	62.64	0.864s
<i>Yb-169</i>	395.30	197.82	616.	85.	0.017	62.88	0.722s
<i>LU-177</i>	416.85	208.59	581.	163.	0.033	32.33	1.159s
<i>Ba-131</i>	431.86	216.09	720.	319.	0.064	20.51	1.229
<i>TA-182</i>	444.11	222.21	432.75.	0.015	56.62	1.547s	
<i>NP-239</i>	456.06	228.18	353.	48.	0.010	57.63	1.140D

---

---

<i>TA-182</i>	<i>458.34</i>	<i>229.32</i>	<i>554.</i>	<i>13.</i>	<i>0.003</i>	<i>266.90</i>	<i>1.141D</i>
<i>EU-152</i>	<i>489.10</i>	<i>244.70</i>	<i>339.</i>	<i>70.</i>	<i>0.014</i>	<i>38.81</i>	<i>1.155D</i>
<i>EU-154</i>	<i>495.57</i>	<i>247.93</i>	<i>529.</i>	<i>18.</i>	<i>0.004</i>	<i>186.53</i>	<i>1.159D</i>
<i>SN-113</i>	<i>509.37</i>	<i>254.83</i>	<i>218.</i>	<i>9.</i>	<i>0.002</i>	<i>286.10</i>	<i>0.825</i>

مضمونها العمل هو دراسة التلوث الجوي الجزائر العاصمة بدرارية عن طريق الجزيئات الدقيقة. جمعا العينات تم تقريبا في 5 اشهر وهذا باستخدام جهاز LVS نتا جتبي نلنا انا التلو عن طريق الجزيئات الصغيرة في درارية ضعيف نسبيا حيث يقدر معدل هذا الجزيئات 40 / 3 %76 من عيناتنا لا يتجاوز 50 / 3

خلال هذا بشكل خاص للمعادن المنتقلة مع هذه الجزيئات المتمثلة في  
Cu Cr, Pb, As, Ni, Fe, V, Zn, Mn, Se, Co, Sb, Ba, Br, Sc, Hf, Ce, Ca  
وهذا باستخدام طرق نووية (NAA); (XRF) الدراسة حول نوعية الهواء في منطقة شبه معمارية (درارية) برهنت عن وجود  
تركيزات ضعيفة على مستوى [نغ/م<sup>3</sup>] مقارنة مع اعمال اخرى في هذا السياق لكنها تبقى خطيرة نظرا لتمييزها  
بخاصية التجمع في جسم الانسان مثل الزرء بالكروم النيكل و الارسنيك.  
المفاتيح:

نوعية الهواء, الجزيئات الدقيقة, طرق نووية, منطقة شبه معمارية, درارية,

### *Abstract*

This study presents the levels of air pollution by the fine particles in an urban semi site at Draria, west of Algiers with middle exposed population density. The taking away of the particles is carried out by a sampler with low flow. In this site, the content average of TSP rises with 40 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. (inferior to  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) We have used a nuclear method: (NAA) and (XRF) for the detection of metals in our samples of filters. The results show the existence of Cr, Pb, As, Ni, Fe, V, Zn, Mn, Se, Co, Sb, Ba, Br, Sc, Hf, Ce, Ca et Cu. The whole of metals associated to the fine particles present relatively low values compared to limits values preconized internationally. Also, they are lower to values of some studies done before at Algiers in urban site or in other cities of world. In spite of low values, these metals like lead, nickel, chrome, arsenic, manganese and cobalt are very dangerous because they are able to accumulate in human body.

### **Keywords:**

Quality of the air, TSP, metals, nuclear method, semi urbansite, Draria and Algiers.

### *Résumé*

L'étude présente les niveaux de pollution de l'air par les TSP et la fraction minérale qui est véhiculée par ces dernières en un site périurbain à Draria, Ouest d'Alger à moyenne densité de population, pendant une période d'environ cinq mois. Le prélèvement des particules est effectué par un échantillonneur à faible débit, la collecte d'aérosols est réalisée par filtres ouverts et sans coupure granulométrique précise. L'étude montre qu'en ce site semi-urbain, la pollution de l'air par les TSP atteint des niveaux relativement faibles. Nous remarquons que 76% des teneurs obtenues ne dépassent pas l'objectif de qualité fixé par la réglementation algérienne et celle de l'OMS ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en conséquence, la pollution par les TSP est tolérable, avec une moyenne de [ $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. L'analyse des métaux associés aux TSP par les méthodes nucléaires NAA et XRF montre la présence du Cr, Pb, As, Ni, Fe, V, Zn, Mn, Se, Co, Sb, Ba, Br, Sc, Hf, Ce, Ca et Cu qui accusent des valeurs relativement faibles comparées aux valeurs limites qui réglementent cette forme de pollution et aux valeurs publiées dans ce même axe de recherche mais l'inhalation de certains métaux comme le plomb, le chrome, le nickel, l'arsenic, le vanadium, le manganèse, le cobalt et l'antimoine même en de faibles quantités peut sur une longue durée conduire à des niveaux de concentration toxiques par effet d'accumulation dans l'organisme.

### **Mots clés :**

Qualité de l'air, TSP, métaux, techniques nucléaires, site périurbain, Draria et Alger.