

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

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA

FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

LE LABORATOIRE DE RECHERCHE EN MATERIAUX ET DEVELOPPEMENT DURABLE (MDD)

En Collaboration avec le

LE CENTRE DE RECHERCHE NUCLEAIRE DE DRARIA

MEMOIRE

De projet de fin d'Etudes de

MASTER EN SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

**APPORT DE LA TECHNIQUE D'ANALYSE PAR
ACTIVATION NEUTRONIQUE A LA QUALITE DE
L'AIR DE LA REGION DE DRARIA**

Présenté par

BEN CHABANE IMANE

Dirigé par

Z. BOUHILA / H. LOUNICI

Soutenu publiquement le 2 Juillet 2015, devant le jury composé

Mlle ARBIA Leila

Mme CHEMLAL Radia

Mme BOUHILA Zohra

Mr LOUNICI Hakim

Présidente

Examinatrice

Rapporteur

Rapporteur

MAA

MCB

AR

Prof

UAMO, Bouira

USTHB, Alger

CRND, Alger

UAMO, Bouira

Bouira, Juin 2015

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant de m'avoir donné santé, volonté, courage, connaissance, surtout de la patience durant mon petit parcours de la vie et qui ma donné toutes les capacités physiques et morales pour la réalisation du présent travail.

*En premier lieu le tiens à remercier à **M^{me} Khodja Z**, qui en tant que promotrice au CRND, d'avoir accepté de diriger ma thèse, pour ses conseils judicieux, son intérêt dans la réussite, pour l'inspiration, ses conseils éclairés, s'est toujours disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, merci pour avoir toujours les mots justes pour me reconforter. Je voudrais vous dire mille fois merci pour tout ce que vous avez fait pour moi durant tout ce travail.*

*J'exprime mes remerciements à **Pr Lounici H**, en tant que promoteur à Université de Akli Mouhande Oul Hadj Bouira pour la qualité des conseils, la confiance et la résolution des problèmes rencontrés.*

Ce travail a été réalisé dans le Département d'Analyse par Activation Neutronique du Centre de Recherche Nucléaire du Draria CRND. Je remercie les personnel du Départements Physique et Application Nucléaires (DPAN) qui aidés sur le plan administratif et matériel. Je suis plus que reconnaissante pour les gens que participées dans les expériences.

*Je tiens tout d'abord à remercier les membres de mon jury de thèse. Je suis très reconnaissante envers "**M^{lle} Arbia Leila**" d'avoir accepté de présider ce jury. Je remercie vivement "**M^{me} Chemlal Radia**" d'avoir accepté membres de ce jury en tant que Examineur. Je suis très sensible à l'honneur qu'ils me font en accordant une partie de leur temps afin de juger ce travail.*

Un grand merci à mes parents pour la confiance qu'ils m'ont toujours accordée, pour leurs encouragements et leur soutien de tous les instants.

Merci à mes grand parents, mes sœurs, mes frères et toute ma famille pour leurs encouragements.

Merci spécialement à Mon Mari pour la compréhension dont il a fait preuve et son soutien dans les moments difficiles.

A celles et ceux qui m'ont aidée et contribué, de près ou de loin, pour la réalisation de ce modeste travail.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma très chère **Mère**, qui m'a donnée
tant de tendresse et d'amour.*

*Mon très cher **Père**, en témoignage de ma
reconnaissance pour sa tendresse*

*Merci mes parents pour m'avoir éduqué et aidé
à grandir dans le savoir.
durant toutes ces années d'études.
Que Dieu les protégé.*

*Mon Mari "**Yassine**" qui m'a beaucoup soutenu
et encouragé durant toute cette période.*

*Mes sœurs: **Amina, Chahinaze, Inasse.***

*Mes frères: **Abd Elbaki, Wassime.***

Mes grands parents.

*Mes amies: **Zouzo, Ahlame, Djamila**
ainsi que le groupe GP M2.*

Mes cousins et cousines.

Toute ma famille.

*Je dédie aussi ce travail à tous
ceux qui m'ont aidé à faire
aboutir ce travail et tout ceux
que j'aime.*

Sommaire

Liste des tableaux	I
Liste des figures.....	II
Liste des symboles et abréviations.....	III
Introduction générale	1

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : l'atmosphère, la pollution et les polluants atmosphériques

1. Introduction	3
2. L'atmosphère	4
2.1. Définition de l'atmosphère.....	4
2.2. Composition de l'atmosphère	4
2.3. Subdivision de l'atmosphère	4
2.3.1. Subdivision en fonction de la variation de la température.....	5
2.3.2. Subdivision de l'atmosphère selon le critère physico chimique.....	6
3. La pollution atmosphérique	6
3.1. Définition.....	6
3.2. Définition de la pollution atmosphérique selon la réglementation Algérienne.....	6
4. Les polluants atmosphériques	8
4.1. Les aérosols atmosphériques	11
4.1.1. Définition	11
4.1.2. Classification des aérosols.....	11
4.1.2.1. Origine des aérosols.....	11
4.1.2.2. Nature primaire ou secondaire.....	11
4.1.2.3. Taille des aérosols.....	11
4.1.2.4. Ordre de grandeur du rayon des particules	12
4.1.3. Mode de formation des aérosols	12
4.2. Eléments trace métalliques (ETM) et toxicité	12
5. Impact de la pollution atmosphérique	16
5.1. Impact sur l'homme	16
5.2. Impact sur environnement.....	17
5.3. Impact sur le climat.....	18
6. Normes et réglementations	18
6.1. Législation nationale et internationale.....	18
6.1.1. Législation internationale	18
6.1.2. Législation nationale	18
6.2. Normes	20
6.2.1. Normes de quelques gaz présents dans l'air	20
6.2.2. Normes des particules en suspension dans l'air.....	20
6.2.3. Normes de quelques métaux lourds présents dans l'air	21

Chapitre II : Echantillonnage et Méthodes d'analyses des polluants atmosphériques

1. Echantillonnage	22
1.1. Introduction	22
1.2. Le site de prélèvement	22
1.3. Le débit d'échantillonnage	23
1.4. Types de prélèvement	23
1.4.1. Prélèvement sans coupure granulométrique	23
1.4.2. Prélèvement avec coupure granulométrique	24
1.4.3. Prélèvement avec fractionnement granulométrique	24
1.5. Les filtres et les membranes de rétention	24
1.5.1. Les filtres en fibre de verre	24
1.5.2. Les filtres membranaires.....	24
2. Méthodes d'analyse des polluants atmosphériques	25
2.1. Présentation générale des méthodes d'analyse	25
2.2. Méthodes d'analyse des éléments de trace métallique.....	26
2.2.1. La spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	26
2.2.2. L'analyse par les rayons X (PIXE).....	26
2.2.3. Spectroscopie de Fluorescence X (XRF : X-Ray Fluorescence).	26
2.2.4. Méthodes d'Analyse des polluants atmosphériques par Activation Neutronique (AAN).....	27
2.2.4.1. Définition de l'AAN	27
2.2.4.2. Principe de la méthode d'AAN.....	27
2.2.4.3. Choix de la durée d'irradiation.....	29
2.2.4.4. Equation fondamentale de l'AAN et méthode de calcul.....	29
2.2.4.5. Détermination de la concentration des éléments dans un échantillon inconnu	31
2.2.4.6. Avantages et inconvénients de l'AAN.....	33
2.2.4.6.1. Avantages	33
2.2.4.6.2. Inconvénients.....	33
2.2.5. Sources d'erreurs liées à l'utilisation de la NAA.....	34
2.2.6. Domaines d'application de l'AAN	34
Partie II: Méthodologie expérimentale	
1. Objectif	36
2. Description du site de prélèvement	36
3. Matériels et Méthodes	37
3.1. Matériels	37
3.1.1. Échantillonneur.....	37
3.1.2. Média filtrant	39
3.1.3. Le réacteur nucléaire NUR de Draria	39
3.1.4. Chaîne de spectrométrie gamma.....	40
3.2. Méthodes	42
3.2.1. Echantillonnage par la méthode de filtration	42
3.2.2. Détermination des teneurs en TSP dans les aérosols collectés	42

3.2.3. Détermination des teneurs en ETM de moyenne et longue périodes.....	42
3.2.3.1. Préparation des échantillons pour la technique INAA.....	42
3.2.3.2. L'irradiation	44
3.2.3.3. Le refroidissement des échantillons.....	44
3.2.3.4. Analyse spectrométrique des échantillons irradiés	44
3.2.3.5. Analyse qualitative des résultats obtenus.....	45
3.2.3.6. Analyse quantitative des résultats obtenus	46
Partie III : Résultats et discussion	
1. Etude des concentrations en TSP.....	48
2. Etude des teneurs en ETM associés aux TSP.....	49
2.1. Les ETM de moyennes périodes.....	49
2.1.1. Brome (Br)	49
2.1.2. Antimoine (Sb)	50
2.1.3. Lanthane (La).....	50
2.1.4. Ytterbium (Yb)	51
2.1.5. Arsenic (As)	51
2.1.6. Samarium (Sm)	52
2.1.7. Molybdène (Mo)	52
2.1.8. Sodium (Na)	53
2.2. Les ETM de longues périodes	54
2.2.1. Zinc (Zn)	55
2.2.2. Fer (Fe)	55
2.2.3. Chrome (Cr)	56
2.2.4. Scandium (Sc)	56
2.2.5. Césium (Cs)	57
2.2.6. Cobalt (Co)	57
2.2.7. Cérium (Ce)	58
2.2.8. Rubidium (Rb)	58
2.2.9. Sélénium (Se)	59
2.2.10. Baryum (Ba).....	59
2.2.11. Hafnium (Hf)	60
2.2.12. Tantale (Ta)	60
2.2.13. Terbium (Tb)	61
2.2.14. Europium (Eu)	61
2.2.15. Gadolinium (Gd)	62
2.2.16. Strontium (Sr)	62
Conclusion générale	63

Références bibliographiques	65
Annexes	71

Liste de Tableaux

Tableau I.1 : Composition chimique de l'air sec.....	4
Tableau I.2 : Différentes échelles de la pollution de l'air.....	7
Tableau I.3 : Les principaux polluants atmosphériques	8
Tableau I.4 : Concentration moyennes de différents polluants dans une atmosphère dite propre ou naturelle et une atmosphère polluée.....	10
Tableau I.5 : Sources d'émission de quelques polluants atmosphériques.....	10
Tableau I.6 : Impacts des métaux lourds sur la santé humaine.....	15
Tableau I.7 : Valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques.....	19
Tableau I.8 : Les normes des TSP dans l'air.....	20
Tableau I.9 : Les normes des PM10 dans l'air.....	20
Tableau I.10 : Les normes des PM2.5 dans l'air.....	21
Tableau I.11 : Les valeurs limitent de quelques métaux lourds dans l'air.....	21
Tableau I.12: Avantages et inconvénients de l'utilisation des échantillonneurs de types LVS et HVS.....	23
Tableau I.13: Type de prélèvement sans coupure granulométrique.....	24
Tableau I.14: Caractéristiques de différents types de filtres.....	25
Tableau I.15: Les méthodes d'analyse de polluants.....	25
Tableau II.1 : Quelques caractéristiques du site de prélèvement.....	36
Tableau III.1 : Les teneurs en TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	48
Tableau III.2 : Concentrations des ETM de moyennes périodes associés aux TSP.....	49
Tableau III.3 : Concentrations des ETM de longue période.....	54

Liste de Figures

Figure I.1 : Les différentes couches atmosphériques.....	5
Figure I.2: Représentation schématique des principales sources de la pollution atmosphérique.....	10
Figure I.3: Exposition du corps humain à différentes classes de dimension des particules.....	17
Figure I.4: Diagramme illustrant le processus de la capture neutronique par un noyau cible suivi d'une émission de rayon gamma.....	29
Figure II.1: L'image satellitaire relative au site de prélèvement.....	37
Figure II.2: Dispositif de prélèvement du site d'étude.....	38
Figure II.3: Les filtres en nitrate de cellulose.....	39
Figure II.4: Configuration d'une chaîne de spectrométrie gamma.....	41
Figure II.5: Schéma du conditionnement des échantillons dans la capsule destinée à l'irradiation.....	44
Figure III.1: Variation des teneurs en TSP	48
Figure III.2: Variation des concentrations de Brome.....	49
Figure III.3: Variation des concentrations d'Antimoine.....	50
Figure III.4: Variation des concentrations de Lanthane.....	50
Figure III.5: Variation des concentrations d'Ytterbium.....	51
Figure III.6: Variation des concentrations d'Arsenic.....	51
Figure III.7: Variation des concentrations de Samarium.....	52
Figure III.8: Variation des concentrations de Molybdène.....	52
Figure III.9: Variation des concentrations de Sodium.....	53
Figure III.10: Variation des concentrations de Zinc.....	55
Figure III.11: Variation des concentrations de Fer.....	55
Figure III.12: Variation des concentrations de chrome.....	56
Figure III.13: Variation des concentrations de Scandium.....	56
Figure III.14: Variation des concentrations de Césium.....	57
Figure III.15: Variation des concentrations de Cobalt.....	57
Figure III.16 : Variation des concentrations de Cérium.....	58
Figure III.17: Variation des concentrations de Rubidium.....	58
Figure III.18: Variation des concentrations de Sélénium.....	59
Figure III.19: Variation des concentrations de Baryum.....	59
Figure III.20: Variation des concentrations d'Hafnium.....	60
Figure III.21 : Variation des concentrations de Tantale.....	60
Figure III.22: Variation des concentrations de Terbium.....	61
Figure III.23 : Variation des concentrations d'Europium.....	61
Figure III.24: Variation des concentrations de Gadolinium.....	62
Figure III.25: Variation des concentrations de Strontium.....	62

Liste d'abréviation et des symboles

A: Masse Atomique

ADC: Convertisseur Analogique Digital

AMP: Amplificateur

CLHP: Chromatographie Liquide Haute Performance

CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse

D: Détecteur

DPAN: Division Physique et Applications Nucléaires

E: Energie

E_{ex}: Energie d'excitation

ΔE: Différence d'Energie

ED-XRF: Analyse Dispersive en Energie

ETM : Eléments Trace Métalliques

eV: Electron-Volt

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HNO₃: Acide nitrique

HP Ge : Germanium de Haute Pureté

HVS : High Volume Sampler (Echantillonnage à Grand Volume)

INAA : Analyse par Activation Neutronique Instrumentale

GSD 12: Poudre de Sol

GSS8 : Standard de Sol

LVS : Low Volume Sampler (Echantillonnage à Faible Volume)

m: Masse de l'élément d'intérêt dans l'échantillons

M : Masse molaire de l'élément

MCA : Analyseur Multi-Canal

n: Nombre d'atomes radioactifs formés à l'instant

N: Nombre d'Avogadro : "6,02 .10²³"

NAA : Analyse par Activation Neutronique

ND : Non Déterminé

NH₃: Ammoniac

O.M.S: Organisation Mondiale de la Santé

ORD: Ordinateur

PA: Préamplificateur

PIXE: Particle Induced X-ray Emission (Emission de rayons X Induite par Particules chargées)

ppb : part par billion

ppm: part par million

ppt: part par trillion

SAA: Spectrométrie d'Absorption Atomique

T_{1/2} : Demi-vie

TSP : Total Suspended Particulate (Particules Totales en Suspension)

UV: Ultra Visible

WD-XRF: Analyse Dispersive en longueur d'onde.

XRF : Spectrométrie de Fluorescence X

Z: Numéro Atomique

λ : Constante de décroissance radioactive de l'isotope radioactif formé ($\lambda = \ln 2/T$
(**T** = période de l'élément))

β ; γ : Emettant des particules nucléaires ou des rayonnements

a : Particule incident au rayonnement

A : Noyau cible

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

A_{Ns} : Surface nette du pic du standard

B : Noyau radioactif

b : Particule émise au rayonnement

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

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

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

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

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})

Facteur 0,1: Erreur systématique de la balance "mg"

Facteur $\sqrt{(2/3)}$: Variance sur l'erreur de la balance (marge de confiance de 95%)

I : Intensité du pic

I_{bla} : Intensité de l'élément à doser dans le blanc aluminium

I_{bif} : Intensité de l'élément à doser dans le blanc filtre

I_e : Intensité de l'élément à doser dans l'échantillon

I_{st} : Intensité de l'élément à doser dans le standard

~ V ~

m₁ : Masse du filtre vide en mg

m₂ : Masse du filtre pollué en mg

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

m_{is} : Masse de l'élément i à doser dans le standard "s"

m_s : Masse du standard préparé ou pesé en "g"

Q : Energie de réaction [la quantité d'énergie dégagée ou absorbée durant la réaction]

Tc: Temps de comptage

Td: Temps de décroissance

td_{bf} : Temps de décroissance blanc filtre

td_e : Temps de décroissance de l'échantillon

td_s : Temps de décroissance du standard

td_{sba} : Temps de décroissance du blanc aluminium

Ti: Temp d'irradiation

V : Volume d'air aspiré en "m³"

(X) : Noyau composé à l'état intermédiaire sous excitation élevée

θ : Abondance de l'isotope de la réaction d'intérêt

φ : Flux neutronique ($\phi = 10^{13}$ neutrons / cm².s)

γ : Rapport d'embranchement (intensité des gammas émis)

σ_a : Section efficace microscopique de capture de l'élément cible de la réaction

ε : Efficacité de comptage pour le pic gamma cible de la réaction

ΔC_e: Erreur sur la concentration de l'élément dans l'échantillon (μg/g d'échantillon)

ΔC_s: Erreur sur la concentration de l'élément dans le standard (μg/g de standard)

Δm_s/m_s: Rapport de l'erreur sur la pesée du standard / la masse du standard

Δm_e/m_e: Rapport de l'erreur sur la pesée de l'échantillon / la masse de l'échantillon

ΔNET_s/NET_s: Rapport de l'erreur sur le NET du standard / le NET du standard

ΔNET_e/NET_e : Rapport de l'erreur sur le NET de l'échantillon / le NET de l'échantillon

INTRODUCTION GÉNÉRALE

" Le coût de la protection du milieu naturel est beaucoup plus faible que le coût de sa reconstitution. La défense de la nature est rentable pour la nation "

Philippe St Marc

Introduction générale

L'objectif principal traité dans ce travail consiste à apporter une modeste contribution à l'étude et le contrôle de la pollution de l'air d'une manière précise, fiable et globale. De manière générale, le problème posé est la détermination d'éléments trace dans des matrices complexes par une technique nucléaire.

L'Algérie œuvre depuis 1975 à la maîtrise de l'utilisation sûre des applications pacifiques de l'énergie nucléaire dans des domaines aussi importants et variés que la production de l'électricité, l'amélioration des services de santé, le développement des processus industriels, la valorisation des ressources en eau, la mise en valeur du secteur agricole, la surveillance et la protection de l'environnement.

Durant les trois dernières décennies, l'Algérie a engagé des efforts considérables en matière de formation d'un potentiel humain et l'acquisition d'installations et d'équipements importants dont 02 réacteurs nucléaires de recherche, NUR (01 MW) et ES SALAM (15 MW) et de nombreux laboratoires de recherche en sciences et technologie nucléaires; L'Algérie se prépare à promulguer une loi nucléaire et projette de se doter d'une première centrale électronucléaire à l'horizon 2025.

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. En effet, avec la multiplication des pôles industriels dans notre pays, les rejets dans l'atmosphère, les eaux et les sols se sont multipliés rapidement et ont conduit dans certaines localités à un déséquilibre écologique significatif engendrant l'apparition de maladies graves au sein de la population. Les phénomènes de la pollution atmosphérique sont à l'origine de préoccupations environnementales, concernant les écosystèmes, la biosphère et des préoccupations sanitaires.

Cette contamination de l'air est avant tout marquée dans les régions industrielles et dans les villes, mais certains polluants peuvent monter dans l'atmosphère puis, poussés par les vents, voyager sur des dizaines ou des centaines de "km" permettant ainsi la pollution des régions éloignées.

En effet, en respirant, nos poumons filtrent environ 15kg de ce mélange gazeux pour en extraire l'oxygène indispensable à la vie.

La liste des polluants atmosphériques est longue, on peut citer les poussières, SO₂, NOX, CO, ETM, les composants organiques volatils (COV), le fluor, l'acide chlorhydrique, etc. On ajoute d'autres substances telles que les gaz à effet de serre : CO₂, CH₄, N₂O, CFC, HFC, PFC, SF₆ et l'ozone (O₃) ainsi que les organochlorés (dioxines et furannes), et les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) etc.

Ce travail nous a permis de quantifier les particules en suspension totales (TSP) et les éléments trace métalliques (ETM) qui sont associés à ces TSP, agents responsables en partie de la dégradation de la qualité de l'air.

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.

C'est pour cela et pour y remédier, un projet de recherche, inscrit au département des techniques nucléaires du centre de recherche nucléaires de Draria (CRND), Alger, est en cours de réalisation pour l'étude de la pollution atmosphérique par les particules inhalables.

L'étude et le contrôle de la pollution atmosphérique ne peuvent être complets sans la détermination des concentrations en ETM se trouvant le plus souvent à l'état de trace ; ce qui a rendu l'utilisation des techniques nucléaires indispensable pour compléter l'analyse de la qualité de l'air. Les méthodes d'analyses nucléaires (NAA, PIXE et XRF) sont toutes indiquées afin de pouvoir doser ces éléments avec précision.

L'analyse des ETM dans les échantillons de l'environnement est souvent accomplie à l'aide des méthodes conventionnelles présentant des inconvénients.

La technique d'Analyse par Activation Neutronique Instrumentale (INAA) est une technique nucléaire très performante vu ses avantages qui reposent tous sur l'aspect multi-élémentaire d'une part et la grande sensibilité d'autre part de cette technique; ce qui constitue un grand avantage pour rechercher et interpréter les corrélations qui pourront exister entre les concentrations des éléments toxiques détectés dans des échantillons d'air.

La procédure de prélèvement des échantillons d'air consiste à piéger les aérosols collectés au niveau du site dans des filtres adaptés selon le mode de collection sur filtre ouverts. Nous nous sommes intéressés en première étape à l'étude quantitative et qualitative de la pollution atmosphérique en TSP puis en la quantification par INAA des ETM qui leur sont associés.

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

Notre modeste contribution par ce travail, consiste à faire un diagnostic environnemental concernant la qualité de l'air par l'évaluation des teneurs en ETM dans l'air au niveau du site d'étude en se limitant sur deux volets: estimation des teneurs en particules en suspension totales ou TSP et les éléments trace métalliques qu'elles véhiculent (Cd, Hg, Ni, Cr, Pb, Sr, Cu, Sn, Zn, Sb, Fe, V, Cu, As et Ag) par INAA.

PARTIE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

*" La vie n'est facile pour personne. Et alors?
Il faut faire preuve de persévérance et surtout de confiance en soi.
Il faut être convaincu qu'on est doué pour quelque chose et que
cette chose, quel qu'en soit le prix, doit être atteinte "*

Marie Curie

CHAPITRE I

L'ATMOSPHÈRE, LA POLLUTION ET LES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

" C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain ne l'écoute pas "

Philippe St Marc



Chapitre I : l'atmosphère, la pollution et les polluants atmosphériques

1. Introduction

Nous vivons dans un monde où l'on parle actuellement beaucoup de pollution, de nuisances, d'environnement, d'énergies propres. Surtout dans la dernière décennie, le terme « pollution » est devenu un mot courant.

La pollution de l'atmosphère est provoquée par toute substance solide, liquide ou gazeuse qui modifie les proportions normales des composantes de l'air pur.

En général, ces matières émises dans l'atmosphère sont rapidement dispersées par l'action et la turbulence du vent et le mouvement de convection et elles retombent plus ou moins lentement par terre où elles sont réintégrées dans les cycles biologiques.

La pollution de l'air en général et les émissions des substances dans l'air en particulier peuvent être abordées sous différents aspects : scientifique, économique, politique, ils sont formulés par :

- Les scientifiques pour la modélisation des phénomènes, l'analyse des impacts (Physiologique, économique...).
- Les industriels pour déterminer leur part de responsabilité, du point de vue de respect de la réglementation.
- L'administration pour développer des stratégies de réduction des émissions, de précaution, et d'amélioration de la qualité de l'air, et de la biosphère en général.
- Les collectivités locales pour la définition d'action à ce niveau.
- Le public qui revendique l'accès à l'information.

Les émissions de polluants ont une forte influence sur la qualité de l'air. Les polluants primaires, dont les NOX, le SO₂, le CO, les poussières, les métaux et les composés organiques volatils (COV), sont directement émis dans l'atmosphère (*Querol et al., 2008*). Ils proviennent aussi bien des sources fixes, chauffages urbains, les foyers domestiques, activités industrielles, domestiques ou agricoles que des sources mobiles, en particulier les automobiles et poids lourds (*Roszbach et al., 2002*). Pour protéger la qualité de l'air, il est nécessaire de connaître la nature des polluants, de savoir les doser et les traiter. C'est une action fondamentale sur quoi repose l'élaboration des stratégies de réduction des quantités de polluants rejetés dans l'atmosphère. La qualité de l'air est menacée dans ce cas par de nombreux polluants passifs (suie, poussières) ou actifs (dérivés du carbone, du soufre, du chlore, etc.) Les métaux lourds sont l'un des agents polluants connus pour leur toxicité. Ces métaux sont entre autres As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn, Se, Sb, etc. Chaque élément a un impact spécifique sur l'environnement et sur les systèmes biologiques vivants et plus particulièrement l'être humain (*Almeida et al., 2011*).

En Algérie, l'absence de données sur l'état de la pollution atmosphérique par les particules en suspension, les particules fines et les taux des métaux lourds qu'ils véhiculent fait que l'impact de cette forme de pollution sur l'environnement est très mal connu.

2. L'atmosphère

2.1. Définition de l'atmosphère

Le mot atmosphère est dérivé du mot grec 'atmos', fumée et du mot latin, boule, globe terrestre. L'atmosphère terrestre est une couche de gaz entourant la planète terre et retenue autour d'elle par la gravité, cette force empêche la dispersion des gaz dans l'espace.

Elle joue le rôle de protection contre les agressions en bloquant les dangereuses particules énergétiques éjectées par le soleil, en freinant les météorites, ainsi qu'en absorbant les rayonnements ultraviolets nocifs. On estime l'épaisseur de l'atmosphère à 5000km, cette valeur reste minime relativement au diamètre de la terre qui est de 12800km [1]. Toute modification dans la composition de l'atmosphère, soit par un apport de nouveau composant ou par un ajout de quantité nouvelle en élément déjà présent, fait que l'air devient un danger pour l'homme et les êtres vivants. L'air est indispensable à la vie car il participe au processus de la respiration et à la photosynthèse des végétaux. L'homme peut vivre deux à cinq semaines sans nourriture, deux à cinq jours sans eau, mais pas plus de cinq minutes sans air.

2.2. Composition de l'atmosphère

L'atmosphère terrestre contient environ 78% d'azote, 21% d'oxygène, 0,93% d'argon, 0,03% de dioxyde de carbone ainsi que d'autres gaz à l'état de trace, d'aérosols, en plus de la vapeur d'eau (Bliefert, 2008).

Tableau I.1 : Composition de l'atmosphère sèche au voisinage de la surface terrestre (Bliefert, 2008)

Composants majeurs	Proportion Volumique (%)	Masses molaires (kg/mol)
Azote (N ₂)	78,09	28,016
Oxygène (O ₂)	20,946	32,000
Argon (A)	0,934	39,944
Dioxyde de carbone (CO ₂)	367 ppm	44,010
Néon (Ne)	18,18 ppm	20,183
Hélium (H ₂)	5,24 ppm	4,003
Krypton (Kr)	1,14 ppm	83,070
Dihydrogène (H ₂)	0,5 ppm	2,016
Xénon (Xe)	87 ppb	131,300
Ozone (O ₃)	10...100 ppb	48,000
Radon (Rn)	6,0 .10 ⁻¹⁸	222,000
Méthane (CH ₄)	1,7.....1,8 ppm	16 ,000
Oxyde Nitrique (N ₂ O)	0,3 ppm	44,000
Dioxyde d'Azote (NO ₂)	10...100 ppb	46,000
Monoxyde d'Azote (NO)	5...100 ppb	30,000
Dioxyde de Soufre (SO ₂)	< 1...50 ppb	64,000
Radical Hydroxyle (HO)	0,04 ppt	17,000

2.3. Subdivision de l'atmosphère

L'atmosphère n'est pas uniforme. Selon qu'on considère l'un des deux critères suivants :

- ✓ critère physico chimique
- ✓ critère de la variation de la température en fonction de l'altitude.

2.3.1. Subdivision en fonction de la variation de la température

En fonction de la variation de la température, l'atmosphère se compose des couches dont les limites sont caractérisées par les variations brusques de température et de pression.

On distingue :

- ✓ **La troposphère** : La troposphère est située entre la surface de la terre et 6Km d'altitude aux pôles et 18Km à l'équateur. C'est la plus dense en masse (80%). C'est donc la couche de l'atmosphère la plus proche de la terre. Dans cette première couche la température décroît avec l'altitude, cette décroissance est de l'ordre de 6.5 à 10 °C par km d'altitude. La limite supérieure de cette couche dans laquelle la température cesse de décroître s'appelle la tropopause.
- ✓ **La stratosphère** : La stratosphère se situe vers 50km, dans cette couche la température augmente progressivement jusqu'à la limite supérieure qui s'appelle la stratopause.
- ✓ **La mésosphère** : Cette couche est située entre 50 et 80km, dans cette région de l'atmosphère la température diminue progressivement et atteint son minimum 90 °C à la limite de la mésosphère. La limite supérieure de cette couche s'appelle la mésopause
- ✓ **La thermosphère** : Cette partie de l'atmosphère se trouve au-delà de 80Km d'altitude dans l'espace extérieur de la thermosphère, la majorité des particules se présentent sous forme d'atomes simples, H, He, O, etc. A des altitudes plus basses (200 et 300 km) se retrouvent les molécules diatomiques, N₂, O₂, NO, etc. Les températures élevées de cette couche sont dues à l'absorption du rayonnement solaire intense par les molécules de dioxygène (O₂) (Meguellati, 2006).

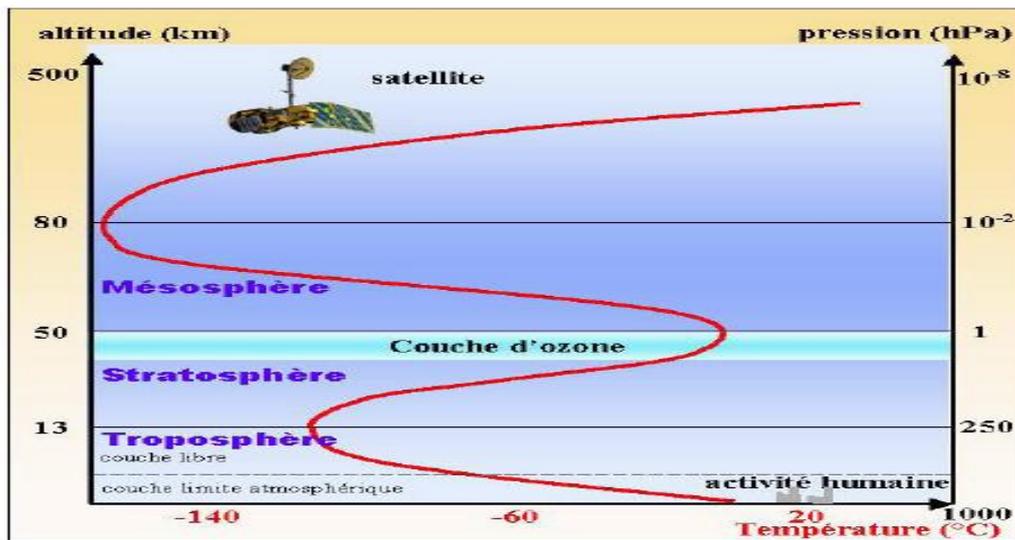


Figure I.1 : Les différentes couches atmosphériques (Meguellati, 2006).

2.3.2. Subdivision de l'atmosphère selon le critère physico chimique

On distingue dans ce contexte les régions atmosphériques suivantes :

- ✓ **L'ionosphère** : L'ionosphère désigne la même région occupée par la thermosphère et elle est caractérisée par la présence des ions.
- ✓ **L'exosphère** : L'exosphère se situe au delà de l'ionosphère. L'exosphère et l'ionosphère composent ensemble l'atmosphère supérieure.
- ✓ **La magnétosphère** : C'est la région qui se situe au dessus de la terre, et elle est caractérisée par la présence de particules chargées, et affectées par le champ magnétique de la terre.

3. La pollution atmosphérique

Un proverbe indien dit :

Lorsque l'homme aura coupé le dernier arbre

Pollué la dernière goutte d'eau

Tué le dernier animal et pêché le dernier poisson

Alors il se rendra compte que l'argent n'est pas comestible

3.1. Définition

Il y a pollution de l'air lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses constituants est susceptible de provoquer un effet nuisible compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une gêne [4]. Un polluant atmosphérique n'est pas toujours une espèce étrangère à l'atmosphère. En effet, les composés chimiques introduits dans l'air par les diverses activités humaines (transport, combustions diverses, agriculture...) sont souvent de même nature que les espèces émises par des processus naturels. Ils deviennent polluants si la modification de leur concentration montre un impact négatif sur les êtres vivants et/ou sur l'environnement. Les espèces émises dans l'atmosphère vont parfois réagir entre elles et donner naissance à de nouveaux constituants (*Meguellati, 2006*).

3.2. Définition de la pollution atmosphérique selon la réglementation Algérienne

Selon la loi N° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement, la pollution atmosphérique est définie comme suit : Article 32 du chapitre 1 : "On entend par pollution de l'atmosphère au sens de la présente loi, l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorantes, de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites"[2].

Remarque

- Cette définition montre avec précision les différents écosystèmes pouvant être concernés par les effets de la pollution atmosphérique.
- Cependant elle ne fait pas de distinction entre les sources naturelles, et industrielles ou domestiques.

Constatations

A la lumière des définitions précédentes nous constatons qu'une définition plus précise, plus exhaustive du phénomène de la pollution atmosphérique, est celle qui prend en considération, et de manière explicite les paramètres suivants :

- * Sources d'émission des polluants atmosphériques :
 - sources naturelles
 - sources anthropiques
- * La nature du milieu dans lequel les effets de la pollution atmosphérique doivent être perçus : (milieu ouvert ; milieu fermé)
- * Les écosystèmes (ou récepteurs cibles de la pollution)
- * Les différents effets nuisibles qu'engendre la pollution.

Tableau I.2 : Différentes échelles de la pollution de l'air (*CITEPA*)

Echelles	Origine	Composés Principaux	Porter dans le temps	Effets	Phénomènes météo et topo associés
Pollution de Proximité	Echappement automobile de voie à circulation intense ou encombrée	NO, NO ₂ , CO, C.O.V	minutes ou heures	êtres vivants, matériaux et sol	temps local stable et vent faible
	Incinération sauvage, chauffage domestique avec combustible impropre ou combustion incomplète	C.O.V (gaz et particules)			temps local stable et vent faible
	Panache de fumée Industrielle	SO ₂ , métaux Lourds			temps stable ou vent établi dans la direction dominante
Pollution urbaine	Transport de pollution à l'échelle du quartier	NO, NO ₂ , CO C.O.V (gaz et particules)	heures ou jours	êtres vivants, matériaux et sol	vent établi dans la direction dominante
	Résultante des pollutions précédentes à grandes échelle	NO, NO ₂ , CO C.O.V (gaz et particules)			îlot de chaleur urbaine et inversion de température (dôme de pollution urbaine et effet de fond de vallée)
Pollution périurbaine	Transformation Photochimique de la pollution automobile d'origine urbaine	O ₃ , PAN	heures ou jours	êtres vivants, matériaux et sol	temps chaud et ensoleillé
Pollution régionale et	Transformation chimique et transport de	O ₃	heures ou jours		Canicule et altitude des reliefs

pollution continentale	pollution Transport de pollution à longue distance, dépôt humides et secs	SO ₂ , NO ₂ , Radioéléments	jours	milieux naturels et êtres vivants	grands couloirs de pollution
pollution planétaire	Migration de polluants vers la stratosphère	CFC, NO ₂	années	amincissement de la couche d'ozone	Couche d'ozone protégeant des UV
	Augmentation de gaz à effet de serre	CO ₂ , CH ₄ , NO ₂ , CFC, O ₃	années	effet de serre	/

4. Les polluants atmosphériques

Toute substance introduite directement ou indirectement par l'homme dans l'air ambiant et susceptible d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement dans son ensemble.

Tableau I.3 : Les principaux polluants atmosphériques (*Meguellati, 2006*)

polluants	Origines	Pollutions générées	Effets sur la santé
Dioxyde de soufre	-Il provient essentiellement de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre : fioul, charbon. -Compte tenu du développement du nucléaire, de l'utilisation de combustibles moins chargés en soufre et des systèmes de dépollution des cheminées d'évacuation des fumées, des économies d'énergie, les concentrations ambiantes ont diminué de plus de 50 % depuis 15 ans.	En présence d'humidité, il forme de l'acide sulfurique qui contribue au phénomène de pluies acides et à la dégradation de la pierre et des matériaux de certaines constructions.	C'est un gaz irritant. Le mélange acido-particulaire peut, selon les concentrations des différents polluants, déclencher des effets bronchospastiques chez l'asthmatique, augmenter les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire), altérer la fonction respiratoire chez l'enfant (baisse de la capacité respiratoire, excès de toux ou de crise d'asthme).
Poussières ou particules en suspension (PS)	-Elles constituent un complexe de substances organiques ou minérales. -Elles peuvent être d'origine naturelle (volcan) ou anthropique (combustion industrielle ou de chauffage, incinération, véhicules). On distingue : les particules « fines » provenant des fumées des moteurs « diesel » ou de vapeurs industrielles recondensées et les «grosses» particules provenant des chaussées ou d'effluents industriels (combustion et procédés).	Les particules les plus fines peuvent transporter des composés toxiques dans les voies respiratoires inférieures (sulfates, métaux lourds, hydrocarbures.) Elles potentialisent ainsi les effets des polluants acides, dioxyde de soufre et acide sulfurique notamment.	Les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines, à des concentrations relativement basses, peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires ou altérer la fonction respiratoire. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérogènes : c'est le cas de certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Des recherches sont actuellement développées pour évaluer l'impact des composés émis par les véhicules «diesel».
	-Ils proviennent surtout des véhicules (environ 75%) et des installations de combustion (centrales énergétiques,...).	Les NOX interviennent dans le processus de	Le NO ₂ pénètre dans les pluies fines ramifications des voies respiratoires.

Oxydes d'azote (NOX)	<p>-Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) font l'objet d'une surveillance attentive dans les centres urbains. le pot catalytique permet une diminution des émissions de chaque véhicule. Néanmoins, les concentrations dans l'air ne diminuent guère compte tenu de l'âge et de l'augmentation forte du par cet du trafic automobile</p>	<p>formation d'ozone dans la basse atmosphère. Ils contribuent également au phénomène des pluies acides.</p>	<p>Il peut, dès 200µg/m³ (microgrammes par m³ d'air), entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique et chez les enfants, augmenter la sensibilité des bronches aux.</p>
Composés Organiques Volatils (COV)	<p>Ils sont multiples. Il s'agit d'hydrocarbures (émis par évaporation des bacs de stockage pétroliers, remplissage des réservoirs automobiles), de composés organiques (provenant des procédés industriels ou de la combustion incomplète des combustibles), de solvants (émis lors de l'application des peintures, des encres, le nettoyage des surfaces métalliques et des vêtements), de composés organiques émis par l'agriculture et par le milieu naturel.</p>	<p>Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère.</p>	<p>Les effets sont très divers selon les polluants : ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation (aldéhydes), à une diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des risques d'effets mutagènes et cancérigènes (benzène).</p>
Monoxyde de carbone (CO)	<p>Il provient de la combustion incomplète des combustibles et carburants. Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand le moteur tourne dans un espace clos (garage) ou quand il y a une concentration de véhicules qui roulent au ralenti dans des espaces couverts (tunnel, parking), ainsi qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage.</p>	<p>Il contribue à la formation de l'ozone.</p>	<p>Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur, des vaisseaux sanguins. A des taux importants, et à doses répétées, il peut être à l'origine d'intoxication chronique avec céphalées, vertiges, asthénie, vomissements. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles.</p>
Métaux lourds plomb (Pb), cadmium (Cd), vanadium (V)	<p>Le plomb a été employé dans l'essence du fait de ses propriétés antidétonantes. Les essences sans plomb ou à teneurs réduites en plomb ont permis d'abaisser depuis quelques années les teneurs dans l'air très en deçà des seuils de nuisances. Le cadmium a des origines très diverses essentiellement, industrielles. Le vanadium est un indicateur de combustible industriel et domestique.</p>		<p>Ces métaux ont la propriété de s'accumuler dans l'organisme, engendrant ainsi un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérigènes. Le plomb est un toxique neurologique, rénal et du sang. Le cadmium a un effet sur l'appareil rénal, c'est aussi un irritant respiratoire. Le vanadium est essentiellement un toxique respiratoire qui peut conduire, selon les concentrations, à une simple irritation ou à des lésions pulmonaires plus graves.</p>

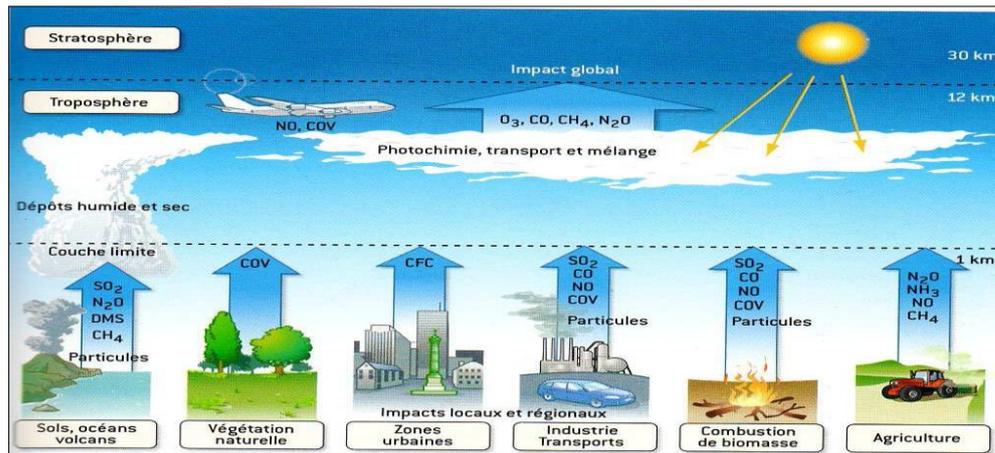


Figure I.2: Représentation schématique des principales sources de la pollution atmosphérique (Anonyme, 2005)

Tableau I.4 : Concentration moyennes de différents polluants dans une atmosphère dite propre ou naturelle et une atmosphère polluée

Polluants	Atmosphère naturelle	Atmosphère polluée
Particule en suspension	0,01 - 0,02 mg/m ³	0,07- 0,7 mg/m ³
Dioxyde de soufre	1-10 ppb	20 -200 ppb
Dioxyde de carbone	310- 330 ppm	350 -700 ppm
Dioxyde d'azote	0,1 - 0,5 ppb	50- 250 ppb
Monoxyde de carbone	120 ppb	1000-10000 ppb
Hydrocarbures totaux	< 1 ppm	1 -20 ppm
Monoxyde d'azote	0,01 - 0,05 ppb	50 - 750 ppb
Ozone	20 - 80 ppb	100 - 500 ppb
Acide nitrique	0,02 – 0,3 ppb	3 - 50 ppb
Ammoniac	1 ppb	10 - 25 ppb
Formaldéhyde	0,4 ppb	10 - 50 ppb
NMHC (hydrocarbure non méthanique)	/	500 - 1200 ppb
Acide nitreux	0,001 ppb	1 – 8 ppb
PAN (Peroxyde Acétyl Nitrate)	/	5 - 35 ppb

Tableau I.5 : Sources d'émission de quelques polluants atmosphériques (Robert, 1975)

Polluants	Sources d'émissions
Anhydride Carbonique (CO ₂)	-Processus de combustion dans la production d'énergie par l'industrie et le chauffage domestique.
L'oxyde de Carbone (CO)	-Processus de combustion incomplète (notamment celle se rapportent à l'industrie sidérurgique, à la raffinerie de pétrole et des véhicules à moteur).
Les oxydes d'azote (NOX)	-Ils proviennent principalement des feux de forêt, des incinérateurs, et aussi des industries des fertilisants.
Les Radiation	-Production de l'énergie nucléaire -application dans le domaine de médecine.
Anhydride Sulfureux (SO ₂)	-Fumée de centrales électriques, des usines, des moteurs diesels, et des chauffages au fuel.

4.1. Les aérosols atmosphériques

4.1.1. Définition

Les poussières est un terme générique désignant toute les particules de matière en suspension, dans l'air ambiant. On les appelle également les aérosols ou les particules (Particulate Matter (PM)) ou encore fumées. Les aérosols sont des systèmes colloïdaux, composés d'air et de particule finement dispersées qui sont solides ou liquides d'environ $10^{-2} \dots 10^2 \mu\text{m}$ de diamètre aérodynamique, présentant une vitesse de chute très faible (de l'ordre du cm/h). Qui peuvent voler dans l'air pendant un temps important et qui se disperser comme les gaz. Dans leur composition, ils sont fondamentalement composés d'éléments tels que le fer, magnésium, silicium, soufre, argon, calcium, nickel, chrome, chlore, manganèse, potassium, cobalt ou titane. Ces particules sont soumises à l'attraction terrestre et descendent vers le sol (sédimentation) plus ces particules sont grosses et lourds, plus elles tombent rapidement sur le sol.

L'aérosol naturel le plus important est la couche d'air de la terre «l'aérosol atmosphérique » Il participe à la formation des nuages, du brouillard, de la pluie, de la neige...etc. Ces aérosols les appels pour cela des noyaux de condensation des nuages (*Bliefert, 2008*).

4.1.2. Classification des aérosols : Les aérosols présents dans l'air ambiant peuvent se classer selon leur origine, nature ou leur taille :

4.1.2.1. Origine des aérosols

On distingue deux types d'aérosols mélangés dans l'atmosphère :

- Les aérosols d'origine naturels.
- Les aérosols d'origine anthropique (de pollution).

4.1.2.2. Nature primaire ou secondaire des aérosols

- **Les aérosols primaires :** sont ceux émis directement dans l'atmosphère, et quelles que soit leurs sources naturelles ou anthropiques (ex : poussières minérales, les noyaux de sel de mer).
- **Les aérosols secondaires :** sont ceux qui résultent dans des conditions météorologiques particulières d'une combinaison avec des molécules naturellement présents dans l'atmosphère provenant de précurseurs gazeux polluants tels que les COV, l'ammoniac (NH_3), l'acide nitrique (HNO_3) et les dérivés soufrés liés aux émissions de SO_2 .

4.1.2.3. Taille des aérosols : La taille des particules s'étale sur plusieurs ordres de grandeurs de $0.001 \mu\text{m}$ à $100 \mu\text{m}$, on distingue :

- **Les particules totales en suspension (TSP) :** Ces particules de diamètre inférieur à $30 - 40 \mu\text{m}$ séjournent longtemps dans l'atmosphère et sont en général captées par le segment extra thoracique (elles sont arrêtées au niveau de la bouche et du nez).
- **Les PM 10 (particules de diamètre < 10 microns) :** Qui sont essentiellement des particules primaires, constituées de matériaux terrigènes (Oxydes métallique, d'aluminosilicate...etc.), de carbone, de sulfates, de nitrites et d'ammonium, d'éléments issus de l'érosion. Par temps sec, la concentration de PM 10 dépend de l'équilibre entre la dispersion dans l'air et la retombée par gravité.

- **Les PM 2,5 (particules de diamètre < 2,5 microns) :** Sont constituées essentiellement de carbone provenant de la condensation de vapeurs très chaudes pendant la combustion de matières organiques fossiles (charbon, fuel, diesel...) ou de biomasse (bois...), mais aussi de nitrates, de sulfates et de composés organiques comme les HAP, substances mutagènes et cancérigènes. Les PM 2,5 se partagent entre particules primaires et particules secondaires. Elles sont dites insédimentables car elles parcourent de très grandes distances sous l'effet des vents, sont très nombreuses et difficiles à quantifier en raison de leur masse négligeable.
- **Les PM 1 (particules de diamètre < 1 microns) :** Ces particules proviennent majoritairement de la combustion d'énergie fossile et sont les particules qui semblent être les plus nocives pour l'organisme. Font partie des PM 1, les particules de suie, le plomb originaire du trafic, le carbone élémentaires et une grande partie des sels d'ammonium. Ces particules peuvent véhiculer des composés toxiques, allergènes mutagènes ou cancérigènes comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les métaux, que vont atteindre les poumons, ou ils pourront être absorbés dans le sang et les tissus (*Masclat, 2005*).

4.1.2.4. Ordre de grandeur du rayon des particules : Supposée sphérique, on distingue (*Whitby, 1976*) :

- ✓ Les **particules d'Aitken (ultrafines)** (mode nucléation) : $0,001 \leq r \leq 0,1 \mu\text{m}$;
- ✓ Les **particules fines** (mode d'accumulation) : $0,1 \leq r \leq 1 \mu\text{m}$.
- ✓ Les **grosses particules** : $1 \leq r \leq 100 \mu\text{m}$.

Ces classifications d'origine et de formation font apparaître que les particules mesurées ne sont pas nécessairement émises ou formées à l'endroit même où elles sont détectées, elles peuvent venir de très loin. A ce propos, on distingue :

- ✓ Les particules endogènes à une région.
- ✓ Les particules exogènes qui ont été transportées sur de grandes distances.

4.1.3. Mode de formation des aérosols : Il existe trois modes de formation des aérosols :

- **Nucléation des gaz :** La nucléation est la transformation d'une phase α (gaz par exemple) vers une phase β (solide ou liquide) lors de laquelle il y a apparition de « petits noyaux » de β dans α .
- **Condensation des gaz à la surface de l'aérosol :** C'est le dépôt, sous forme de vapeur, de matière gazeuse sur des particules déjà existante. Ce processus permet le grossissement de la particule sans diminution du nombre.
- **Coagulation d'aérosols :** C'est l'adhésion d'une particule avec une ou plusieurs autres, pour former une particule de plus grande taille. L'adhésion de ces particules entre elles est le résultat d'une collision entre elles (*Briefert, 2008*).

4.2. Eléments trace métalliques (ETM) et toxicité

Le terme métaux lourds est défini par le protocole de Genève, par tous les métaux qui ont une masse volumique supérieure à $4,5 \text{ g/cm}^3$ parmi eux, il y a ceux qui sont considérés comme toxiques pour les êtres vivants et l'environnement : Plomb (Pb), Mercure (Hg), Arsenic (As), Cadmium (Cd), d'autres comme le Cuivre (Cu), le Zinc (Zn), le Chrome (Cr), nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxique à des doses plus importantes .

La dénomination métal lourd est parfois confondue avec élément-trace, micropolluant métallique ou encore oligo-élément.

Ces termes impliquent trois notions :

- ✓ Eléments en traces (ETM).
- ✓ Polluants (dont l'accumulation).
- ✓ Métalliques.

La classification en métaux lourds est d'ailleurs souvent discutée, car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement « lourds » (le zinc), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas tous des métaux (l'Arsenic). Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent l'appellation « éléments en traces métalliques » -ETM- ou « éléments traces ».

Selon l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) environ de 80% des maladies chroniques comme l'arthrite, le diabète, l'asthme, le cancer pouvaient être causés directement ou indirectement par la pollution environnementale. Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance, celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux indices de dysfonctionnement :

chlorose foliaire, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage, inhibition de l'activité enzymatique, perturbation du métabolisme végétal, oxydation de protéines, altération des membranes cellulaires, cassure au sein de l'ADN, pouvant conduire à la mort cellulaire (*Jose et al., 2009*).

- **Le cadmium**

Le cadmium est un métal gris argenté, mou, électropositif et malléable. Il résiste à la corrosion atmosphérique ce qui en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux. C'est un métal de transition du groupe II B du tableau périodique des éléments (*Jose et al., 2009*).

Le cadmium soit potentiellement très phytotoxique, il est souvent accumulé par les végétaux. Dans les milieux aquatiques, le cadmium est transféré aux sédiments et absorbé par les organismes évoluant sur les vases (*Esteban, 2006*)

- **Le Plomb**

A l'état naturel, il se trouve dans la galène. Il provient essentiellement du carburant, des batteries et de la peinture il n'est pas essentiel pour les organismes et sa présence à des taux élevés est toxique. Le plomb est connu pour entraver la fabrication de l'hémoglobine et modifier la composition du sang. Il agit également sur le système nerveux central et provoque le saturnisme. La forme la plus fréquente dans les milieux naturels est Pb^{2+} . L'intoxication chronique au Plomb peut provoquer des troubles graves ou de saturnisme. Le Plomb peut traverser les muqueuses intestinales et pulmonaires pour se retrouver dans le sang, les tissus mous et les os pour s'y accumuler. Le Plomb s'accumule dans les différents compartiments de l'environnement et gagne les chaînes alimentaires (*Chris et al., 2005*).

- **Le Zinc**

Le zinc est essentiel pour tous les organismes, il est caractérisé par sa faible toxicité par rapport aux autres éléments. Il est très répandu, et utilisé dans différents domaines (métallurgie, imprimerie, caoutchouc, peinture, alliage, batterie, agriculture et bâtiment). Il se trouve associé aux oxydes (Co-précipitation avec Fe et Mn) suivant le pH du milieu. Le Zn a beaucoup d'affinité avec le Cd et le Pb, et aussi avec les oxydes de fer et de manganèse (*Bliefert, 2001*).

- **Le Nickel**

Le Nickel est un élément indispensable pour les organismes, mais qui devient toxique à fortes doses. Le nickel provoque des inflammations des muqueuses nasales, des organes respiratoires et est connu pour être cancérigène. Le nickel et ses composés sont des produits relativement peu toxiques, ils peuvent toutefois provoquer des dermatites. L'exposition répétée des réactions cancérigènes ou une allergie respiratoire. Il apparaît moins toxique vis-à-vis des organismes aquatiques que le cuivre et le zinc, il semble néanmoins plus toxique pour les poissons que le fer et le manganèse.

- **Le cuivre**

Le cuivre est présent dans les gisements de minerai, c'est un oligo-élément indispensable à la croissance des plantes et des animaux. Il est toxique à fortes concentrations, et est très utilisé dans divers domaines (électricité, métallurgie, textile, photographie, agriculture, fongicides, tanneries, tuyauterie) chez l'être humain, il favorise la production de l'hémoglobine. Les êtres humains sont exposés au cuivre de plusieurs façons, dont l'eau potable, la nourriture, la terre et les poussières. Les aliments contiennent entre 75 et 99 % du cuivre que nous absorbons (*Ping et al., 2009*).

- **L'aluminium**

L'aluminium est le métal le plus répandu sur terre et l'un des plus utilisés dans l'industrie moderne, c'est le métal le plus employé dans la vie courante, après le fer. La toxicité de l'aluminium est reconnue depuis une dizaine d'années. Il pénètre dans l'organisme humain par les voies digestives et pulmonaires et peut s'accumuler progressivement sur les cellules pour former de volumineux dépôts.

L'effet de l'aluminium sur les végétaux est lié à la solubilité de celui-ci dans l'eau qui est un bon transporteur des éléments nocifs vers les végétaux dont la croissance serait perturbée (*Xue et al., 2009*).

- **L'arsenic**

Il peut provenir des activités anthropiques (métallurgie, agriculture, tanneries, peinture, coloration de verre et céramique). L'arsenic est un poison cellulaire qui pénètre dans l'organisme par les voies digestives ou respiratoires et peut provoquer des troubles de la respiration et des voies urinaires. Il est responsable de troubles hépato-digestifs, sanguins, rénaux, osseux et parfois mortel. Il est couramment utilisé dans la fabrication d'alliages (*Ming-Ho, 2004*).

- **Le Mercure**

Le mercure est un élément rare, mais concentré dans différents minerais, le plus important est le Cinabre rouge HgS. C'est le seul métal liquide à la température ambiante (25°C). C'est à cause de sa pression de vapeur élevée qu'une atmosphère saturée en Hg (30 mg/m³ à d'une température de 25°C).

Il est le plus volatil des métaux, et le point de fusion le plus bas (-39°C). Beaucoup de métaux se dissolvent dans le mercure et forment des alliages. Le mercure et tous ses composés sont toxiques pour tous les êtres vivants lorsqu'il est utilisé en quantité appréciable, il empêche l'activité de certains enzymes et par suite à interrompre les réactions biochimiques que les enzymes catalysent dans le corps.

- **Le Vanadium**

Il est utilisé sous la forme V_2O_5 dans la fabrication des alliages d'acier. La toxicité de cet élément dépend de sa valence et de son degré de solubilité, la forme pentavalente est la plus toxique. A l'état naturel se trouve sous forme divalente, trivalente et quadrivalente.

- **Le Cobalt**

C'est un élément indispensable pour les organismes, mais qui devient aussi toxique au-delà de certaines concentrations. Il est employé dans divers domaines (les tuyauteries, la peinture, l'acier, les catalyseurs et les fertilisants). Cet élément est associé aux sulfures. Il est moins répandu dans les roches, en comparaison avec Cr, Ni, Zn, et Cu (Ming-Ho, 2004).

- **Le Chrome**

C'est un métal lourd largement distribué dans la croûte terrestre de concentration moyenne 100 mg/kg de roche (Talidi, 2006). Le chrome se retrouve dans tous les compartiments de l'environnement, aussi bien dans l'eau que dans l'air et le sol mais aussi par extension dans les organismes vivants. Il peut être émis dans l'atmosphère, sous forme particulaire, ou rejeté dans les milieux aquatiques.

- **Le Sélénium**

Il provient essentiellement de la production de verre. L'utilisation du fioul lourd contribue également aux émissions, du fait qu'il contient des traces de ce métal.

Tableau I.6 : Impacts des métaux lourds sur la santé humaine (Saeid, 2009);(Goyil, 2000) (Singh, 2009);(ARPAM, 2004);(Dockery, 1989)

Elément	Toxicité / forme la plus toxique	Effets	
		Chroniques : exposition Peu intense de longue durée	Aigus : exposition intense de courte durée
As	Formes inorganiques	Cancérogène, lésions (moelle osseuse, sang, Foie et système nerveux)	Irritations des muqueuses, troubles digestifs et circulatoires, lésions de la peau
Cd	Formes inorganiques (chlorure et oxyde de Cadmium)	Potentiellement cancérogène ostéoporose, lésion du rein	Troubles digestifs, pulmonaires et rénaux
Cr	Formes inorganiques (Trioxyde de Chrome)	Effets cancérogènes (poumon), lésion du rein, troubles respiratoires et gastro-intestinaux	Irritations des muqueuses Respiratoires
Cu	Toxicité rare, sauf si Exposition exceptionnelle		Lésions des muqueuses Respiratoires
Fe			Troubles digestifs, lésions du rein, irritations (peau et muqueuses)
Hg	Méthylmercure	Troubles neurologiques et du comportement, tremblements	Troubles neurologiques et digestifs, irritations des voies respiratoires, lésions du rein
Ni	Toxicité assez rare, forme organique	Cancérogène, asthme, rhinites chroniques	Troubles respiratoires, digestifs et cutanés
Pb	Forme organique	Potentiellement cancérogène, plombémie, convulsions, troubles neurologiques et du comportement	Troubles neurologiques (enfants plus sensibles), digestifs et rénaux

V	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle	Bronchites chroniques, pneumonie, anémie, lésions du foie et du rein	Irritations (appareil respiratoire, peau et muqueuses)
Zn			Irritations des muqueuses respiratoires, gastro-intestinales et cutanées, fatigue, frissons

5. Impact de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique a des effets néfastes sur les individus et l'environnement.

5.1. Impact sur l'homme : Ainsi la pollution par les particules :

- ✓ Celles de diamètre supérieur à 20 µm sédimentent.
- ✓ Celle de diamètre compris entre 10 et 20 µm ont un impact sur le naso-pharynx.
- ✓ Celle de diamètre compris entre 1 et 5 µm sédimentent dans la trachée.
- ✓ Celles de diamètre inférieur à 1 µm atteignent les bronchioles et la circulation sanguine.

L'impact de la pollution atmosphérique dépend de la quantité de polluant avec lequel l'organisme est en contact « dose ». Cette dose varie en fonction de 3 facteurs :

- ✓ La concentration des polluants dans l'atmosphère.
- ✓ La durée de l'exposition.
- ✓ L'intensité de l'activité physique.

Les polluants peuvent atteindre l'homme par :

- ✓ Passage à travers la peau.
- ✓ Ingestion (diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine ; le plomb et le cadmium peuvent prendre la place du calcium et de la vitamine 'D' en cas de carence)
- ✓ Ou par inhalation (les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires), le mercure et le plomb tétraéthyl peuvent être à l'état vapeur à température ambiante.

Les organes respiratoires exposés aux poussières fines : plus les particules sont petites, plus elles pénètrent profondément dans l'appareil pulmonaire (*Penttinen et al., 2001*).

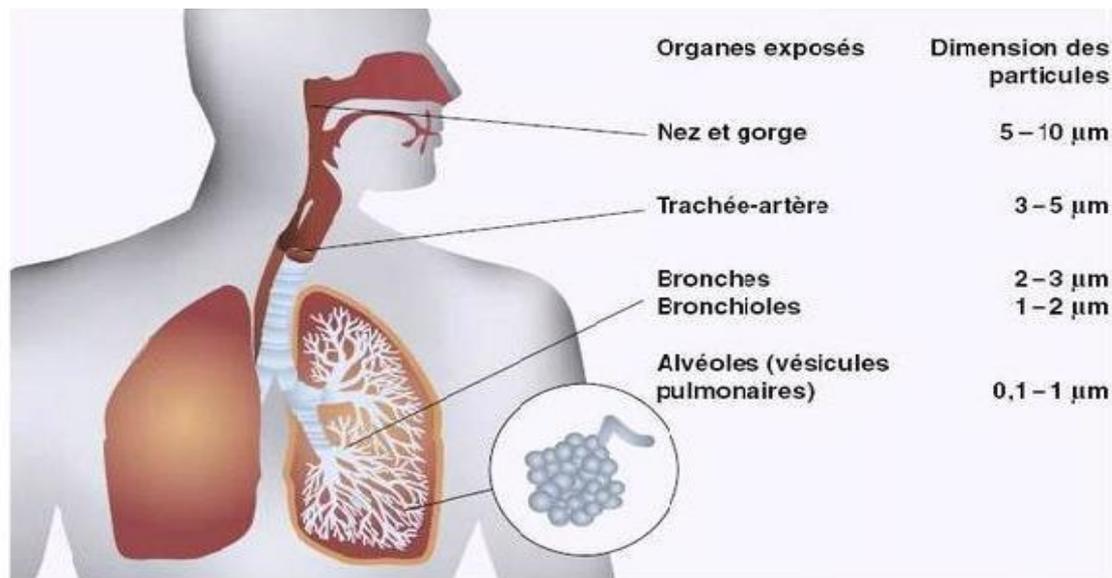


Figure I.3 : Exposition du corps humain à différentes classes de dimension des particules (Penttinen et al., 2001).

Les concentrations dans ce cas peuvent être toxiques en atteignant des niveaux excessivement élevés pendant quelques heures à quelques jours causant ainsi des asphyxies mortelles surtout pour les personnes âgées ou vulnérables.

Les effets à long terme sont difficiles à évaluer et dépendent de l'état de santé initial et le mode de vie des individus. Ainsi le SO_2 peut causer des bronchites chroniques même par faible concentration. Le CO , NO_2 , O_3 peu solubles atteignent les poumons avec des conséquences mortelles.

5.2. Impact sur environnement

Les effets les plus constatés sont la réduction de la visibilité par absorption et diffusion du rayonnement visible par les gaz. De même par atmosphère fortement polluée, le bilan radiatif peut être altéré d'une part par absorption et diffusion du rayonnement par les aérosols et d'autre part par absorption et émission du rayonnement infrarouge par l'atmosphère. Certains polluants tel que le SO_2 a des effets néfastes sur la végétation et peut détruire la chlorophylle et altéré le processus de photosynthèse qui frêne le développement de la végétation. Les polluants sont dispersés par les vents, dissous par les pluies ou bloqués lorsque l'atmosphère est stable.

Ainsi, les périodes anticycloniques caractérisées par un temps calme, avec un vent faible, accompagné parfois d'une inversion de température en hiver, concourent à une augmentation rapide de la concentration de polluants au niveau du sol (OFEFP, 2005);(Richard, 1994);(Elichergartacy, 2008);(Fontan, 2003).

En situation normale, la température de l'air diminue avec l'altitude. L'air chaud contenant les polluants tend à s'élever naturellement. Les polluants se dispersent verticalement. En situation d'inversion de température, le sol se refroidit de façon importante pendant la nuit (l'hiver par temps clair). La température à quelques centaines de mètres d'altitude est alors supérieure à celle mesurée au niveau du sol. Les polluants se trouvent ainsi bloqués sous un « couvercle » d'air chaud, appelé couche d'inversion (Gombert, 2005);(Jose et al., 2009);(Krzyzanowski, 2005);(Ramade, 1992).

5.3. Impact sur le climat

Les aérosols modifient le climat par Changée les propriétés radioactives de l'aérosol (effet direct).

Les aérosols modifient l'Albedo terrestre, par leur couleur. Un aérosol carboné se comporte comme un "corps noir" au sens de la thermodynamique, alors que les poussières terrigènes sont plutôt blanches et réfléchissent la lumière solaire (*Masclat, 2005*).

6. Normes et réglementations

Partout à travers le monde, le développement de l'industrie minière se fait actuellement dans un contexte de protection environnementale auquel l'Algérie souscrit, ainsi c'est en 1983 qu'une loi cadre sur l'environnement a été promulgué en Algérie, Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relatives à la protection de l'environnement. Cette loi a été abrogée par la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement durable.

6.1. Législation nationale et internationale

6.1.1. Législation internationale

- **Convention de Genève du 13/11/1979**
Sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, signée par les Etats Européens et Amérique du nord. Elle constitue une étape importante dans la prise en charge de l'hygiène de l'air dans ces pays. Dans son « article 2 », elle appelle les parties à élaborer et harmoniser leurs politiques nationales pour réduire graduellement les polluants atmosphériques (*Hamdad, 2002*).
- **Protocole d'Helsinki du 08/07/1985**
Premier traité international comportant des objectifs précis et vérifiables en ce qui concerne la lutte contre la pollution de l'air, ce protocole obligeant les Etats parties à réduire leurs émissions nationales de soufre d'au moins 30% avant 1993 (*Kiss, 2004*)
- **Protocole de Genève du 18/11/1991**
Il concerne la lutte contre les émissions des composés organiques volatiles ou les flux transfrontières. Ce protocole oblige les Etats parties à réduire leurs émissions de 30%.
- **Protocole d'Aarhus du 24/06/1998**
L'un concerne les pollutions organiques persistantes et l'autre sur les métaux lourds ils prévoient la réduction des émissions des polluants organique persistants et des métaux lourds.

6.1.2. Législation nationale

- **Loi 03-10 du 19/07/2003**

Relation à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Dans « l'article 46 » préconisé (*Journal officiel, 2003*)

- **Loi 04-2 du 25/12/2004**

Relation à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Dans son « article 10 », prévoit la prise en charge par des dispositifs de prévention des risques majeurs, dont les pollutions atmosphériques (*Journal officiel, 2004*).

- **Décret exécutifs N° 06-138 du 15/04/2006**

Réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, vapeurs, fumées, particules solides ou liquides, aussi les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle (*Journal officiel, 2006*).

Le Décret Exécutif n°06-138 du 15 avril 2006, vient s'ajouter aux précédents décrets et lois et est là pour renforcer en termes de législation, les émissions et les rejets des polluants dans l'atmosphère par des sources fixes et mobiles.

Tableau I.7 : Valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques (*Jorapd, 2006*)

N°	Paramètres	Valeurs limites (mg.nm ⁻³)
1	Poussières totales	50
2	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	300
3	Oxydes d'azote (exprimés en dioxyde d'azote)	300
4	Protoxyde d'azote	300
5	Chlorure d'hydrogène et autres composés inorganiques gazeux (exprimé en HCl)	50
6	Fluor et composés inorganiques de fluor (gaz, vésicule et particules), (exprimé en HCl)	10
7	Composés organiques volatils (rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane)	150
8	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	5
9	Rejets de cadmium, mercure, thallium et leurs composés	0,25
10	Rejets d'arsenic, sélénium, tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	1
11	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium, zinc et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	5
12	Phosphine, phosgène	1
13	Acide cyanhydrique exprimé en HCN, Brome et composés inorganiques gazeux du chrome exprimé en HBr, Chlore exprimé en HCl, hydrogène sulfuré.	5
14	Ammoniac	50
15	Amiante	0,1
16	Autres fibres que l'amiante	1

6.2. Normes

6.2.1. Normes de quelques gaz présents dans l'air

La récente directive européenne du 21/05/2008 fixe de nouvelles normes (*DIR, 2008*):

Anhydride sulfureux (SO₂) :

Valeur limite horaire	→	350 µg/m ³
Valeur limite Journalière	→	125 µg/m ³
Seuil d'alerte	→	500 µg/m ³

Dioxyde d'azote(NO₂) :

Valeur limite horaire	→	200 µg/m ³
Valeur limite Annuelle	→	40 µg/m ³
Seuil d'alerte	→	400 µg/m ³

Ozone (O₃) :

Valeur Cible (sur 8heures)	→	120 µg/m ³
Seuil d'information (sur 1 heure)	→	180 µg/m ³
Seuil d'alerte	→	240 µg/m ³

Monoxyde de carbone (CO) :

Valeur limite annuelle	→	10 µg/m ³
------------------------	---	----------------------

6.2.2. Normes des particules en suspension dans l'air

➤ TSP :

Tableau I.8 : Les normes des TSP dans l'air (*DIR, 2008*)

	Normes requises en µg/m ³
OMS	80 (valeur limite annuelle) 250 (valeur limite journalière)
Normes algériennes	80 (valeur limite annuelle) 50 (valeur cible annuelle)

➤ PM 10 :

Tableau I.9 : Les normes des PM 10 dans l'air (*Henry, 2008*)

	OMS	Directive Européenne
Valeur limite journalière (µg/m ³)	50	50
Valeur limite annuelle (µg/m ³)	20	40
Valeur cible (µg/m ³)	/	30
Seuil d'information (µg/m ³)	/	80
Seuil d'alerte (µg/m ³)	/	125

➤ **PM 2.5 :****Tableau I.10 :** Les normes des PM 2.5 dans l'air (*Journal Officiel, 2004*)

	OMS	Directive Européenne
Valeur limite journalière (µg/m³)	25	/
Valeur limite annuelle (µg/m³)	10	24

6.2.3. Normes de quelques métaux lourds présents dans l'air**Tableau I.11 :** Les valeurs limitent de quelques métaux lourds dans l'air (*Journal Officiel, 2004*)

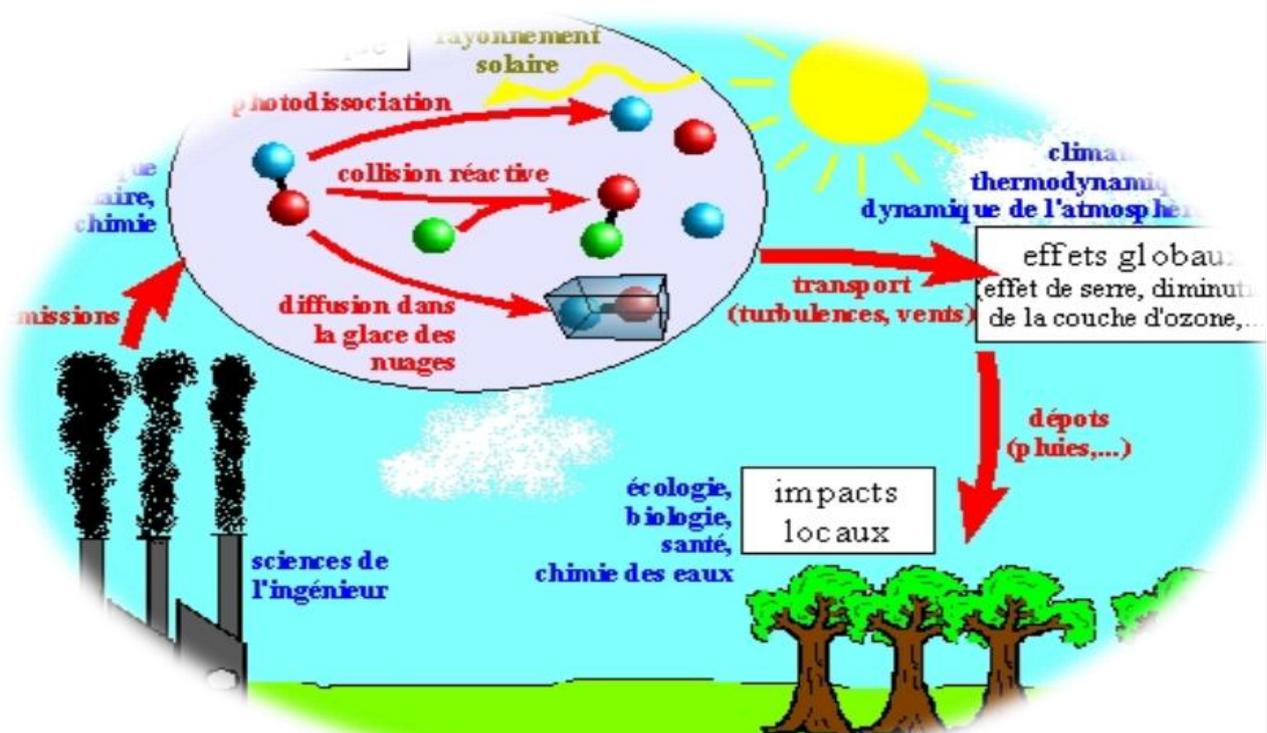
Métal (µg/m³)	OMS	Directive Européenne
As	/	0,006
Cd	0,005	0,005
Mn	1	/
Ni	0,02	0,02
Pb	0.5	0.9

CHAPITRE II

ECHANTILLONNAGE ET MÉTHODES D'ANALYSES DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

" Le problème de l'environnement ne doit pas devenir un hit parade superficiel, servant d'alibi à l'ordre qui a commis les dégâts. Il ne s'agit pas non plus de rejeter naïvement notre technologie, mais de démontrer surtout le mauvais usage que l'on en fait Nous utilisons de nouvelles technologies polluantes qui menacent notre milieu parce qu'elles sont sources de plus grands profits "

Barry Commoner



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 qui sont piégées par ce filtre.

Quelque soit le mode de prélèvement utilisé, le rendement granulométrique des particules en suspension est proche de 100% pour les particules de diamètre supérieurs à 3 μm .

Au-delà de cette dimension, l'efficacité de la collecte est influencée par les conditions météorologiques (la vitesse du vent), les conditions de prélèvement, le débit d'aspiration, la position et les conditions du dispositif de captage (*Larssen et al., 1999*).

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. Le site de prélèvement

La classification des sites d'échantillonnage des particules fines se base sur les critères définis par l'Agence Européenne pour l'Environnement. Parmi ces critères, on a la distance du site de l'échantillonnage par rapport aux sources potentielles de pollution tel que les usines, les centres ville, le trafic routier, ainsi que les volumes des véhicules qui passent dans la zone d'échantillonnage (*Larssen et al., 1999*).

On distingue généralement les types de site suivants :

- ✓ **Site naturel** : distance par rapport à une large pollution > 50Km.
- ✓ **Site rural** : distance par rapport à une large pollution est entre 10 à 50Km.
- ✓ **Site de proximité** : distance par rapport à une large pollution est entre 3 à 10Km.
- ✓ **Site urbain** : le nombre de véhicule est inférieur à 2500 véhicules par jours sur un rayon de 50m.
- ✓ **Site « station trafic »** : à moins de 5m d'un axe routier.

Le choix d'un site de prélèvement est en fonction du type de pollution atmosphérique à surveiller. L'objet de la surveillance étant spécialement d'évaluer le risque individuel d'exposition des êtres humains à des niveaux élevés de pollution. On distingue deux sortes de stations de mesure :

- **Une station de proximité** est installée sous l'influence directe d'une source locale spécifique (usine, circulation automobile...). En général, pour la surveillance de l'impact du trafic routier, le point de prélèvement est implanté sur le bord de l'axe de circulation. Ce type de site a pour objectif de mesurer les concentrations maximales auxquelles les citoyens risquent d'être exposés, même pour de courtes périodes de temps.

- **Une station urbaine dense** doit rendre compte d'une exposition moyenne et de longue durée en zone urbanisée et fournir une représentation spatio-temporelle fiable du champ de pollution dans lequel évoluent les citadins. Elle ne doit donc pas être influencée directement par des sources industrielles ou automobiles mais doit être installée de façon à être représentative du niveau ambiant général, pour une densité de population suffisante (*Hinds, 1982*).

1.3. Le débit d'échantillonnage

Le débit d'échantillonnage ou de prélèvement peut varier d'un à plusieurs m³/h, il existe deux types de systèmes de prélèvement classé selon leurs débits de fonctionnement:

- **Echantillonnage à faible volume (LVS : Low Volume Sampler)**

C'est un appareil qui fonctionne à faible débit (de 1 à 20 l/mn). Le temps de prélèvement est long. La porosité des filtres est très faible et le volume minimum est de 24m³. Ce type d'échantillonnage est utilisé pour les mesures à l'émission en milieu pollué (*Rosbach et al., 2000*).

- **Echantillonnage à grand volume (HVS : High Volume sampler)**

Cet appareil fonctionne avec un débit d'environ 70 m³/h. la porosité des filtres est > 3 µm. il est utilisé pour les mesures en site peu pollué ou pour effectuer des prélèvements courts.

Tableau I.12: Avantages et inconvénients de l'utilisation des échantillonneurs de types LVS et HVS (*Robache et al., 2001*)

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

1.4. Types de prélèvement

Généralement, pour la surveillance des teneurs en TSP (particules totales en suspension) dans l'air urbain, l'échantillonnage se fait avec ou sans fractionnement granulométrique, on distingue trois catégories de prélèvement :

1.4.1. Prélèvement sans coupure granulométrique

Ce sont des méthodes dites intégrales, car on collecte toutes les particules en suspension jusqu'à 30 µm ou plus (*Petit-Coviaux et al., 1990*).

Tableau I.13: Type de prélèvement sans coupure granulométrique (*Couriers et al., 1990*)

Prélèvement sur filtre à moyen débit	Prélèvement sur filtre à très fort débit	Prélèvement des fumées Noires
<p>-La vitesse de prélèvement est de 1,5 m³/s pendant une durée de 24 heures (LVS).</p> <p>-La nature des filtres utilisés sont en fibre de verre ou membranes de diamètre 47mm.</p> <p>-Les particules collectées sont de taille de 0,30 à 30µm, et une efficacité moindre pour les PM10 par rapport au PM 2,5.</p>	<p>-Les préleveurs utilisés sont de type HVS avec un débit de 60 à 100 m³/s pour une durée de 24h.</p> <p>-Collecte des particules de taille plus importante.</p> <p>-Une efficacité pour les PM10, elle est de l'ordre de 25 à 40% pour les particules de 30µm.</p>	<p>-Ce prélèvement se fait à une vitesse de 1cm/s pour une durée de 24h.</p> <p>-Utilisé pour la collecte des particules issues de la combustion dont le diamètre < 10µm.</p> <p>-Une efficacité significative pour les particules de taille < 5µm.</p>

1.4.2. Prélèvement avec coupure granulométrique

L'appareillage utilisé est équipé d'une tête qui permet de collecter les particules dont le diamètre est inférieur à une valeur fixe. Exemple : PM10 et PM 2.5 (*Ayad et Cherifi., 2006*).

L'appareil le plus connu est le HVS-PM10 de la firme américaine Andersen (*Ikawa, 1997*).

1.4.3. Prélèvement avec fractionnement granulométrique

Ce prélèvement est effectué à bas ou à haut débit et la collecte des particules se fait par impaction; le principe est basé sur la différence de l'énergie cinétique des particules. 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, 1988*).

1.5. Les filtres et les membranes de rétention

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

- ✓ Une efficacité de collection au moins 99% pour les particules de diamètre $\geq 0,3\mu\text{m}$.
- ✓ Une hydroscopicité faible.
- ✓ Un taux d'impureté aussi faible pour éviter les interférences lors de l'analyse quantitative des particules collectées sur le filtre (*Oikawa, 1999*).

Le choix du filtre est effectué en fonction des composés à analyser. Les filtres les plus 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 $> 0,3\mu\text{m}$. La dimension de leurs pores varie de 0,1 à 4 µm. 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 μm . 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).

Tableau I.14: Caractéristiques de différents types de filtres (*Hinds, 1982*)

Filtre	Type	Matériel	Epaisseur (mm)	Porosité (μm)	Résistance au colmatage	Efficacité (%)
Whatman4	Fibre	Cellulose	0,19	3 à 20	0,35	72
Microsorban	Fibre	Polystyrène	1,5	0,7	0,04	99,50
MSA1106B	Fibre	Verre	0,23	0,1 à 0,8	0,10	99,93
Millopore AA	membrane	Ester cellulose	0,15	0,8	0,19	99,98

2. Méthodes d'analyse des polluants atmosphériques

Les réglementations française et européenne imposent le respect d'un certain nombre de normes en matière de rejets de métaux lourds. Pour vérifier que ces normes sont appliquées, on dispose d'un certain nombre de moyens de détection et d'analyse des polluants atmosphériques dans un gaz, liquide ou solide.

2.1. Présentation générale des méthodes d'analyse

La différence des substances qui peuvent constituer les particules en suspension dans l'air, rend difficile leur mise en évidence. Rien n'empêche qu'avec le développement technologique, plusieurs méthodes plus au moins développées permettent de déterminer certains constituants ainsi que leur concentration (*Chaboun et al., 2007*).

Tableau I.15: les méthodes d'analyse de polluants

Polluants	Méthode d'analyse
Composante acide	-La chromatographie ionique -La spectrométrie UV visible
Composante organique contenant les HAP (hydrocarbures aromatique polycycliques)	-La chromatographie liquide haute performance (CLHP) -La chromatographie en phase gazeuse (CPG)
Eléments métalliques	-La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) -L'analyse par activation neutronique (NAA) -La spectrométrie de fluorescence X (XRF) -L'analyse par rayon X induits par particules chargées (PIXE)
Carbone élémentaire et Carbone organique	-La combustion à différentes températures sous forme de CO_2

2.2. Méthodes d'analyse des éléments de trace métallique

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. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. Cette méthode est utilisée pour l'analyse des métaux dans les échantillons biologiques, métallurgiques, pharmaceutiques et atmosphériques (*Matteini et al., 1991*). La SAA est basée sur l'absorption des radiations électromagnétiques des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres, ce qui 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 la SAA 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.

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

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. Les photons X sont produits après éjection d'un électron « orbitale » interne d'un atome excité. Un faisceau de X traversant la matière est soumis à trois processus : l'absorption, la dispersion, et la fluorescence (*Chaboun, 2007*).

Particle Induced X-ray Emission, émission de rayons X induite par particules chargées, ou aussi fluorescence X induite par particules accélérées. Les particules sont le plus souvent des protons (*Flottard, 2003*).

L'émission de rayons X induits par les particules chargées a été signalée pour la première fois en 1970 à Lund en Suède. La technique PIXE est rapidement développée, en quelques années elle est devenue incontournable (*Choaib et al., 2010*).

La PIXE est lié aux atomes et leur cortège d'électrons. Il se décompose en trois phases :

- ✓ 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 (*Chassot et al., 2004*).

2.2.3. Spectroscopie de Fluorescence X (XRF : X-Ray Fluorescence)

La méthode d'analyse élémentaire par fluorescence X permet l'analyse qualitative et quantitative des éléments dont les numéros atomiques ($Z \geq 13$) (*Di Benedetto, 1997*).

Cette méthode non destructive est destinée à l'analyse des éléments majeurs, mineurs, et trace sous forme solide, liquide ou gazeux.

La spectrométrie de fluorescence X est utilisée dans divers domaines de recherches scientifiques tels que : l'industrie, la géologie, l'agriculture, la géochimie, la médecine, l'astronomie, la minéralogie et la biologie. Dans le domaine de la protection de l'environnement cette méthode est utilisée pour analyser les particules en suspension dans l'air, ou encore pour analyser l'eau (*Choaib et al., 2010*).

La spectroscopie de fluorescence X est basée sur l'interaction d'un rayonnement X avec les atomes constituant la matière (*Shackley, 2011*).

Ce principe repose sur la comparaison de l'aire d'une raie X d'un élément d'un échantillon standard de concentration connue avec la même raie X de l'élément de l'échantillon.

L'analyse du spectre peut se faire de deux manières:

- ✓ Analyse dispersive en longueur d'onde (WD-XRF),
- ✓ Analyse dispersive en énergie (ED-XRF).

2.2.4. Méthodes d'Analyse des polluants atmosphérique par Activation Neutronique (AAN)

2.2.4.1. Définition de l'AAN

L'analyse par activation est une méthode d'analyse exclusivement élémentaire.

Elle a été mise en œuvre dans les années 50 et a été utilisée par Glenn Seaborg (Prix Nobel). Elle s'est développée rapidement après l'implantation des réacteurs nucléaires capables de fournir un flux neutronique intense (*Choaib et al., 2010*). L'analyse par activation neutronique permet d'identifier et de déterminer la masse d'un ou plusieurs éléments dans une matrice quelconque en mesurant la radioactivité induite par l'irradiation de l'échantillon à l'aide de neutrons (Masson C, 1967). Cette technique est réalisée essentiellement avec des flux de neutrons assez élevés ($\approx 10^{14}$ n.cm⁻².s⁻¹) fournis par des réacteurs de recherche. Actuellement, la méthode est utilisée comme méthode d'analyse de traces et d'ultra-traces, pour calibrer et vérifier les résultats obtenus par d'autres méthodes. Cette technique possède la possibilité de doser simultanément, sur un même échantillon, un grand nombre d'éléments présents dans des domaines de concentration très différents.

À partir des activités induites pour chaque isotope produit, on peut déduire le nombre d'atomes de la ou les espèces X activées, c'est à dire les concentrations des éléments recherchés.

2.2.4.2. Principe de la méthode d'AAN

Dans son principe, la méthode d'Analyse par Activation Neutronique remonte à la découverte de la radioactivité artificielle par Frédéric et Irène Joliot-Curie en 1934. Mais la méthode n'a pris son essor pratique dans les applications à la géochimie et à l'archéologie que vers le milieu des années 60 avec le développement des semi-conducteurs. Isadore Perlman et son groupe du Lawrence Berkeley Laboratory dans les années 70 ont porté cette technique au très haut degré de précision qui en fait encore celle qui sert à contrôler l'étalonnage de toutes les autres pour de nombreux éléments.

On mesure donc à l'aide d'un détecteur semi-conducteur au germanium le spectre de rayons gamma émis lors de la désexcitation du noyau final. On choisit pour la mesure de chaque élément un pic photoélectrique le plus intense et le plus dégagé de chevauchements correspondant à l'interaction des rayons gamma avec le cristal du détecteur (*Flottard, 2000*).

La procédure d'Analyse par Activation Neutronique Instrumentale (AANI) comprend les étapes suivantes :

- ✓ Préparation des échantillons.
- ✓ Irradiation neutronique dans le réacteur nucléaire.
- ✓ Refroidissement des échantillons.
- ✓ Faire éventuellement les séparations chimiques nécessaires.
- ✓ Mesure des rayonnements gamma issus de l'échantillon irradié.
- ✓ Interprétation des spectres gamma en termes d'éléments et de concentrations.

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 passer :

- ✓ 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 particulier subatomique et de rayonnements β et/ou γ .
- ✓ Excitation temporaire suivi d'une désexcitation instantanée et d'une transformation du noyau cible en d'autres noyaux avec un nombre de particules subatomique différents.
- ✓ Pour beaucoup de cas, le noyau transformé subira une désexcitation γ caractéristique retardée en émettant des particules nucléaires ou des rayonnements β et/ou γ .

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

- ✓ La première phase se produit durant l'interaction nucléaire
- ✓ La seconde se produit après l'interaction nucléaire.

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

En principe, les méthodes nucléaires d'analyses se regroupent en deux types de techniques d'analyse dépendant de la phase prise 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

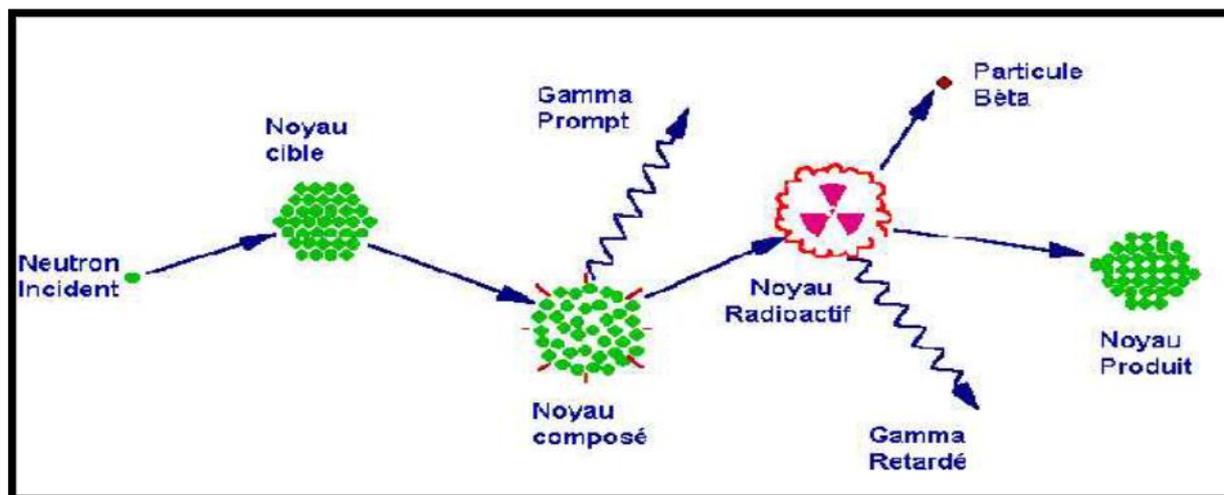


Figure I.3: Diagramme illustrant le processus de la capture neutronique par un noyau cible suivi d'une émission de rayon gamma.

2.2.4.3. Choix de la durée d'irradiation

La quantité de l'échantillon à analyser est choisie de telle manière à ce que l'activité globale ne dépasse pas une certaine valeur pour être manipulable sans danger. En outre, la durée d'irradiation doit être compatible avec les périodes des éléments à doser. En effet, si l'on veut doser des éléments qui se produisent par capture un radio-isotope à courte demi-vie; de l'ordre de quelques minutes à quelques heures, il est évidemment inutile d'irradier longtemps puisque le facteur de saturation est obtenu au bout de 3 ou 4 $T_{1/2}$ de l'élément produit. par exemple pour doser l'aluminium par la réaction $^{27}\text{Al}(n, \gamma) ^{28}\text{Al}$, $T_{1/2} = 2,24$ min (γ de 1778,9 keV), il suffit d'irradier un dizaine de minutes, si l'on irradiait quelques heures un échantillon par exemple du silico-aluminate de sodium, on obtiendrait une très forte activité de ^{24}Na ($t_{1/2} = 15$ h), qui outre une section efficace de capture importante, possède un spectre d'énergie avec 3 photons (γ de 1368, 2754 keV) donnant une contribution compton importante. Ainsi, en adoptant une irradiation de courte durée, on obtient une sensibilité maximale pour l'aluminium et une faible activation du sodium, etc. Quelquefois au contraire, la détermination des concentrations de certains éléments nécessitent des irradiations longues si l'on veut avoir une bonne sensibilité pour des éléments qui conduisent à des périodes $T_{1/2}$ grandes.

Exemple: cas du Se (^{75}Se 120 j), Hg (46 j), Fe (^{59}Fe 45j) Co (^{60}Co , 5.3 an) etc. alors on a la concentration attendue à irradier entre 1 journée à 1 semaine, quitte à laisser refroidir la source pour laisser décroître les activités indésirables à courte ou moyenne période.

2.2.4.4. Equation fondamentale de l'AAN et méthode de calcul

Soit un échantillon irradié par un flux neutronique ϕ , la variation de nombre d'atomes radioactif formés pendant l'irradiation est donné par l'expression (De Soete et al., 1972) :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{N\theta m}{A} \sigma\phi - \lambda n \quad (2)$$

Où :

n : nombre d'atomes radioactifs formés à l'instant t .

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

θ : abondance de l'isotope.

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

λ : Constante de décroissance radioactive de l'isotope radioactif formé ($\lambda = \ln 2/T$).

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

σ_a : section efficace microscopique de capture de l'élément cible.

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

$$n = \frac{N\sigma_a\theta m}{A\lambda} \varphi(1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (3)$$

t_i étant la durée d'irradiation et φ le flux de neutrons par unité de surface

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

$$A = \lambda n = \frac{N\sigma_a\theta m}{A} \varphi(1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (4)$$

$$A = A_\infty(1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (5)$$

Le terme $A_\infty = \frac{N\sigma_a\theta m}{A\lambda} \varphi$ 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 :

$$A = \lambda n = \frac{N\sigma_a\theta m}{A} \varphi(1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} \quad (6)$$

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

$$A_N = \varepsilon \gamma \int_0^{t_c} \frac{N\sigma_a\theta m}{A} \varphi(1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} e^{-\lambda t} dt \quad (7)$$

$$A_N = \varepsilon \gamma \frac{N\sigma_a\theta m}{A} \varphi(1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda} \quad (8)$$

Où :

ε : Efficacité de la chaîne de comptage pour le pic gamma d'énergie totale

γ : Intensité des gammas émis

En posant :

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

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

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

La masse de l'élément recherché est donnée par :

$$m = \frac{1}{SDC} \frac{A}{N\sigma_a\theta\varepsilon\gamma} \frac{AN}{\varphi} \quad (9)$$

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 de l'isotope (père) de l'élément.

✓ Le schéma de décroissance du radionucléide.

2.2.4.5. 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 :

$$C_{ie} = \frac{m_{elm}}{V} \quad (10)$$

Où :

C_{ie} : la concentration de l'élément i dans l'échantillon

m_{ie} : la masse calculée de l'élément i 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 $m = \frac{1}{SDC} \frac{A}{N \sigma_a \theta \epsilon \gamma} \frac{AN}{\varphi}$ soit identique pour l'échantillon et le standard ; on pourra alors écrire :

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

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

$$m_{ie} = \frac{D_s C_s A_{Ne}}{D_e C_e A_{Ns}} m_{is} \quad (12)$$

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 :

$$m_{ie} = m_{is} \left(\frac{I_{ech} * e^{\lambda t_{dech}}}{I_{st} * e^{\lambda t_{dst}}} \right) \quad (13)$$

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.

λ : constante radioactive de l'élément à doser.

td : temps de décroissance.

La masse m_{ie} (μg) d'un élément i dans le standard est donnée par la formule suivante :

$$m_{is} = m_s * C_{is} \quad (14)$$

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 doit être corrigée et devient :

$$m_{ie} = m_{is} \left(\frac{I_{ech} * e^{\lambda t d_{ech}}}{I_{st} * e^{\lambda t d_{st}}} \right) \quad (15)$$

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_e : l'intensité de l'élément à doser dans l'échantillon.

I_{blf} : 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_s : l'intensité de l'élément à doser dans le standard.

λ : constante radioactive.

I_{blf} : 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_e : temps de décroissance de l'échantillon.

td_s : temps de décroissance du standard.

td_{blf} : 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 :

$$m_{ie} = m_{is} \frac{(I_{ech} \times e^{\lambda t d_{ech}} - I_{blf} \times e^{\lambda t d_{blf}})}{(I_{st} \times e^{\lambda t d_{st}} - I_{bla} \times e^{\lambda t d_{sblat}})} \quad (16)$$

Où :

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

N_a : nombre d'Avogadro égal $6,023 * 10^{23}$

M : la masse molaire de l'élément.

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

θ : l'abondance isotopique.

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

γ : rapport d'embranchement.

σ : section efficace.

ε : l'efficacité du détecteur.

t_i : temps d'irradiation.

td : temps de décroissance.

t_c : temps de comptage.

I : intensité du pic.

2.2.4.6. Avantages et inconvénients de l'AAN

2.2.4.6.1. Avantages

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

- ✓ Sélective : elle ne tient pas compte de la forme chimique de l'élément.
- ✓ Propreté : ne nécessite pas l'utilisation de réactifs chimique lors de la préparation.
- ✓ L'échantillon peut être irradié sans aucun prétraitement, on n'a donc pas de problèmes de contamination possible avec des éléments traces dus aux réactifs chimiques.
- ✓ Grand précision pouvant atteindre 5%.
- ✓ Elle est non destructive et permet de réaliser des irradiations répétitives et de préserver les échantillons pour d'autres expériences.
- ✓ Par son incomparable sensibilité
- ✓ Pour la plupart des techniques analytiques physico-chimiques la variation de sensibilité d'un élément à l'autre est relativement peu importante.
- ✓ La sensibilité est inférieure au $\mu\text{g/g}$, selon les matrices dans le cas des neutrons thermiques, grâce aux irradiations qui peuvent être effectuées avec des flux élevées, les liaisons chimiques que peut former n'ont aucune importance pour le dosage puisque l'irradiation concerne le noyau.
- ✓ Dans un même échantillon, nous pouvons doser plusieurs éléments à la fois en une seule irradiation et dans un temps relativement court.
- ✓ C'est la seule méthode qui permet une analyse de l'ensemble du volume d'un échantillon.
- ✓ les éléments abondants sont faciles à doser, et les limites de détection empêchent essentiellement le dosage des éléments peu abondants.

2.2.4.6.2. Inconvénients

La NAA présente 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'installation et les équipements coutent cher et pas disponibles toujours.
- ✓ Le cycle d'analyse est parfois très long.
- ✓ L'appareil n'est pas portatif, on ne peut travailler ni in-situ, ni en ligne.
- ✓ Ne permet pas de doser tous les éléments.
- ✓ Elle est difficile à automatiser et les logiciels existants nécessitent la présence humaine.
- ✓ 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 des déchets radioactifs.
- ✓ Règles exigeantes de sécurité.
- ✓ Lourdeur administrative (autorisations nécessaires).
- ✓ La période radioactive des éléments recherchés doit être suffisamment longue pour avoir le temps d'effectuer le transport et l'analyse.
- ✓ Le personnel utilisant ce type de matériel doit être spécialisé.
- ✓ Le temps nécessaire à une analyse est assez long. Il faut compter, pour le prélèvement, la préparation de l'étalon, l'envoi, l'irradiation et le retour, trois semaines environ.

2.2.5. Sources d'erreurs liées à l'utilisation de la NAA

Plusieurs sources d'erreurs dans la méthode d'AAN peuvent affecter la sensibilité et détériorer la précision. On peut citer :

- **Erreurs physique** : Ce sont les erreurs qui peuvent intervenir lors du calcul des concentrations et qui sont liées à l'auto absorption des neutrons pendant l'irradiation, aux mesures des activités ou à l'hétérogénéité du flux.
- **Erreurs chimique** : Les erreurs chimique peuvent être liées à la contamination de la cible pendant sa préparation, un mauvais traitement du standard ou à une faible précision dans les procédés de séparation chimique.

2.2.6. Domaines d'application de l'AAN

L'analyse par activation neutronique pour le nombre d'éléments qu'elle permet de doser, pour sa sélectivité, sa sensibilité et sa sureté, a été appliquée dans des domaines très variés (*Ehmann et al., 1991*).

- **Médecine et biologie**

La NAA a donné lieu à une multitude d'applications in vitro et quelquefois in vivo. De très nombreux éléments ont été ainsi dosés dans le sang, l'urine et la plupart des tissus afin d'identifier certains métaux qui pouvant provoquer le cancer, le vieillissement ou autre, ainsi que l'étude de la distribution de différents éléments dans le corps humain. La NAA est l'une des méthodes les plus sensibles pour les dosages de traces de certains d'entre eux, tel le sélénium et le vanadium. Cette grande sensibilité permet de faire les analyses sur de très petites quantités de matière, ainsi de nombreux éléments toxiques (As) ou polluants (Cd, Hg) sont dosés sur des portions de cheveux. La présence de quantités importantes de sodium, de brome et quelquefois de chlore, rend les séparations chimiques souvent indispensables après et même avant irradiation. L'irradiation en neutrons épithermiques permet quelquefois de réduire suffisamment les radioactivités induites sur les éléments Br, Cl, Mn, Na pour rendre possible le dosage de nombreux éléments mineurs tels que As, Cd, I, Mo, Sr..., sans séparation chimique après irradiation.

- **L'analyse des matériaux**

C'est l'analyse des impuretés pour la préparation et l'étude des propriétés des matériaux de haute pureté et dans l'industrie des semi-conducteurs (caractérisation de la pureté chimique du silicium par exemple). Elle est sans rivale.

- **Criminologie**

La NAA est utilisée pour le dosage des éléments toxiques dans les tissus des cellules humaines : cheveu, dent, sang, etc. (dosage de l'arsenic dans les cheveux de Napoléon Bonaparte). Le FBI a longtemps utilisé la NAA pour confondre ou disculper un suspect.

- **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 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.

- **Environnement**

L'analyse par activation permet de détecter et de quantifier les éléments nocifs à l'être humain. Elle est utilisée pour le dosage des poussières atmosphériques retenues par des filtres, sur les mousses ou les lichens. L'échantillonnage s'effectue aux zones industrielles, eau de mer, eau de fleuve, plante, animaux etc. 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.

PARTIE II

MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALES

" La vérité de demain se nourrit de l'erreur d'hier "

Antoine de Saint-Exupéry



1. Objectif

Notre contribution par ce travail est d'étudier la qualité de l'air en milieu urbain. On se propose dans ce travail d'étudier la pollution atmosphérique par les ETM contenus dans les aérosols prélevés dans un site urbain sur les hauteurs de la banlieue proche d'Alger à 200m par rapport au niveau de 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 (*Contini et al., 2012*);(*Calvo et al., 2013*);(*Freng Li et al., 2013*). Ainsi, des solutions pourront être apportées pour y remédier.

2. Description du site de prélèvement

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 humaines à des niveaux variables d'une pollution. Pour l'étude de la pollution atmosphérique en milieux urbains, par les particules inhalables en particulier les ETM, nous avons en fonction de l'objectif fixé et des moyens disponibles, opté pour un site urbain de proximité.

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.

Notre contribution est d'étudier la qualité de l'air dans le site choisi. On se propose dans ce travail d'étudier la pollution de l'air par les ETM contenus dans les aérosols prélevés dans un site de type « Périurbain » qui a l'objectif d'estimer le niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » à la périphérie du centre urbain.

En ce site, le poste de mesure est implanté au niveau de la terrasse du bâtiment du Division Physique et Applications Nucléaires (DPAN) à une altitude d'environ 13m par rapport au sol.

Ce site se caractérise par l'absence d'obstacles (bonne ventilation naturelle). Hormis le trafic routier, il y a deux routes à grand circulation (d'où l'importance du nombre de véhicules qui transitent à coté du site de prélèvement). La re-suspension du sol ainsi que les industries avoisinantes (l'usine de céramique ~3km), et aussi à la forte densité humaine constituent aussi des sources d'émission.

Tableau II.1 : Quelques caractéristiques du site de prélèvement

Superficie	1,8 km ²
Population	Environ 44141 d'habitants en 2010
Nombre de véhicules transitant par le site quotidiennement	Environ 30,000 véhicules par jour
Altitude entre le site et la mer	200 m



Figure II. 1 : L'image satellitaire relative au site de prélèvement (*Google Earth Software*).

3. Matériels et Méthodes

3.1. Matériels

3.1.1. Échantillonneur

L'échantillonneur est 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. L'échantillonneur utilisé, est un appareil LVS "Low Volume Sampler". La pompe de prélèvement est alimentée par un courant électrique, ce qui permet d'aspirer l'air avec un débit de $1\text{m}^3/\text{h}$ (petites variations dues au colmatage). Un porte filtre ou cassette est utilisée comme support de filtre pendant la collecte. Le volume d'air échantillonné est donné par une volumétrie 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.

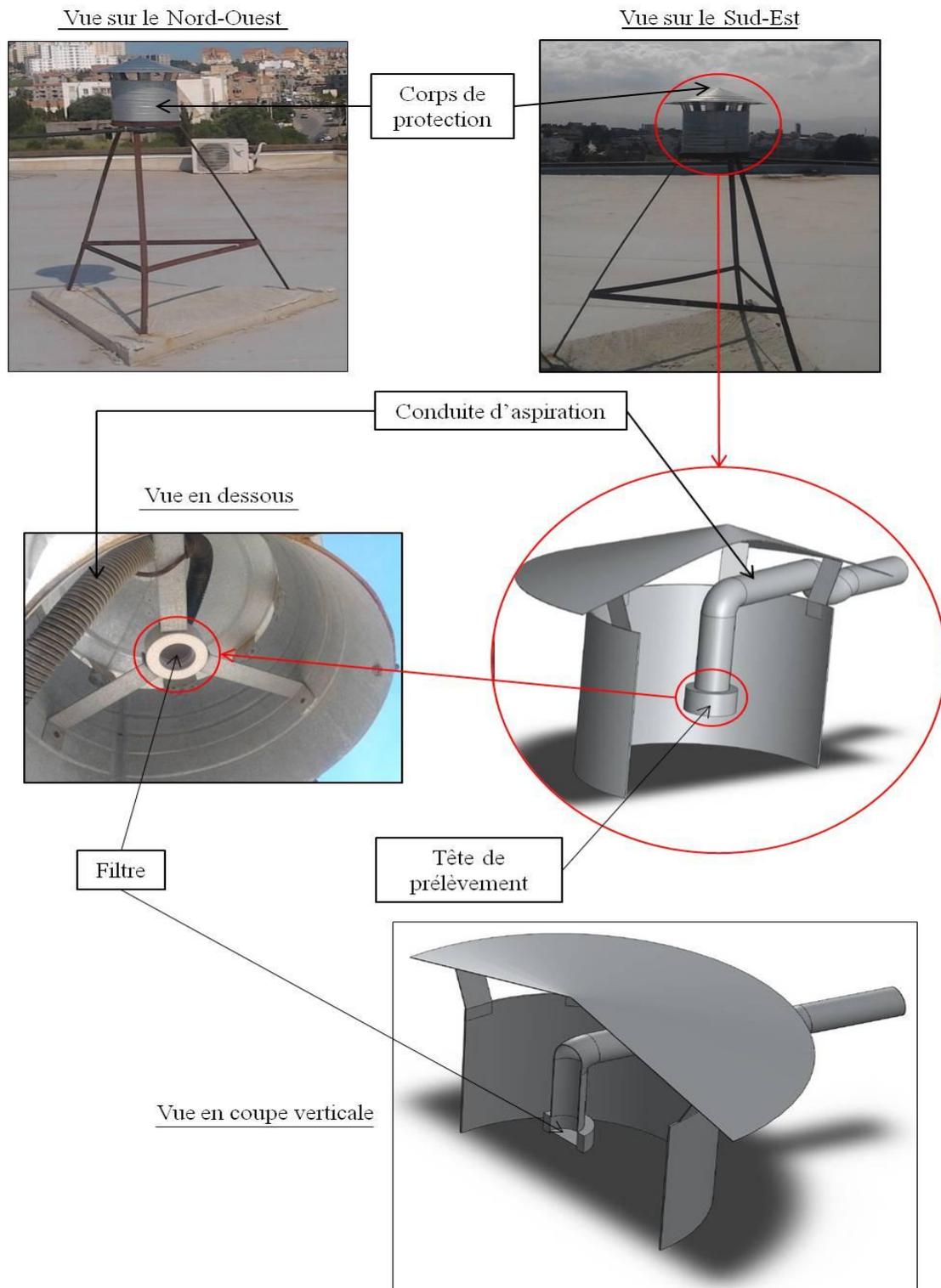


Figure II.2: Dispositif de prélèvement du site d'étude

3.1.2. Média filtrant

Le choix des filtres utilisés pour le prélèvement est primordial. Deux phénomènes peuvent résulter d'un mauvais choix :

- Le colmatage du filtre.
- 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: il 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 II.3. : Les filtres en nitrate de cellulose.

3.1.3. Le réacteur nucléaire NUR de Draria

Le réacteur nucléaire est un dispositif de contrôle des réactions en chaîne. Il peut produire un faisceau de neutrons très intense avec différents types d'énergie (thermique, épithermique, rapide). Le réacteur NUR est de type piscine doté d'une grande flexibilité expérimentale qui atteint une puissance nominale de 1 MW. Le cœur est constitué d'éléments combustibles à plaques de type MTR refroidi et modéré à l'eau légère. Le réacteur dispose verticalement de sites d'irradiations dans le cœur, dans sa périphérie et dans la colonne thermique. Il dispose également de cinq canaux d'irradiation horizontaux. Le flux neutronique thermique atteint la magnitude de $10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$, le système de refroidissement composé d'un circuit primaire où circule l'eau de grande pureté et d'un circuit secondaire où de l'eau adoucie évacue de la chaleur à l'atmosphère par le biais d'une tour de refroidissement.

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 pour les irradiations de longues périodes ou par voie pneumatique pour l'analyse des radioéléments de courte période.

3.1.4. Chaîne de spectrométrie gamma

Dans sa structure, une chaîne de mesure doit pouvoir assurer, au moyen des dispositifs appropriés, les fonctions suivantes (*Avino et al., 2008*) :

- Extraction de l'information concernant chacune des grandeurs physique à connaître et traduction en signal électrique à la moyenne de capteur 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 calculateur chargé de l'exploiter, au moyen de l'échantillonneur-bloqueur et convertisseur analogique-numérique.
- La coordination des opérations précédentes est assurée par un calculateur qui, en outre, peut être chargé de divers traitements sur les signaux numérique qu'il a acquis, les traitements sont destinés à faciliter leur exploitation ou corriger des défauts de l'appareillage.

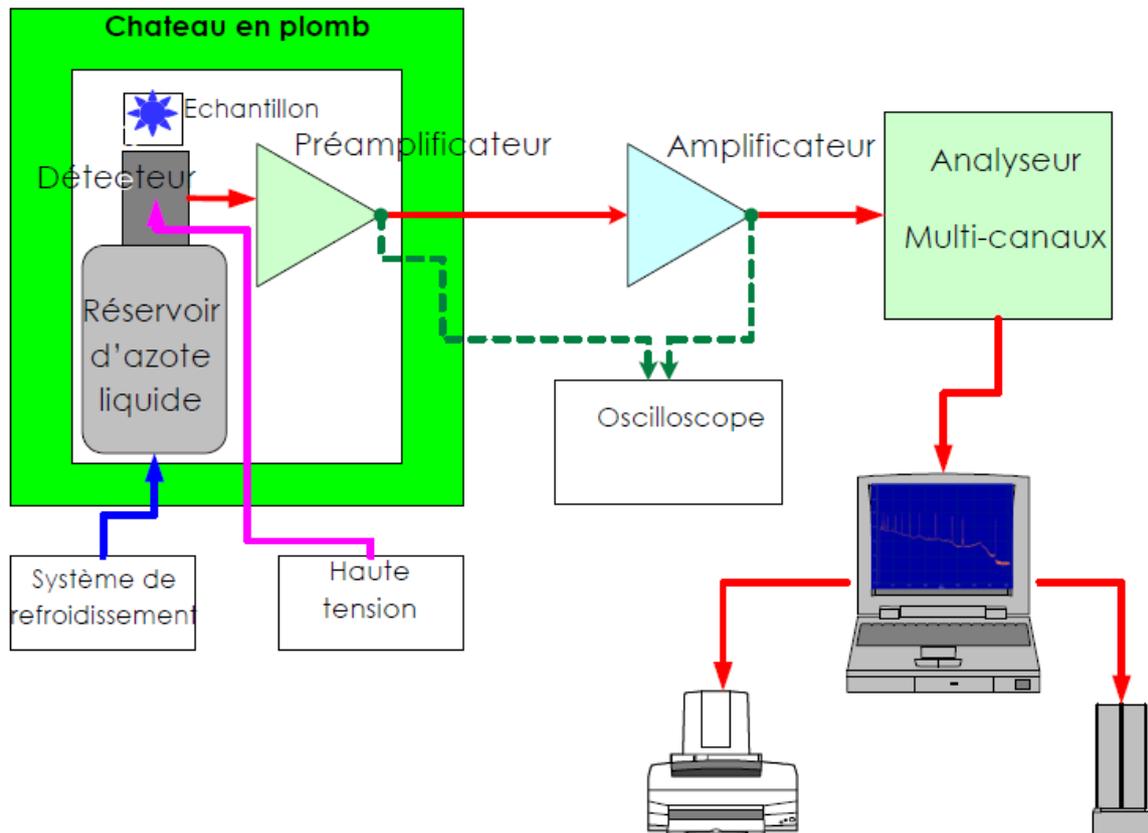


Figure II.4. : Configuration d'une chaîne de spectrométrie gamma.

La chaîne de spectrométrie gamma située à proximité du dispositif de réception des capsules irradiées, est composée de plusieurs modules électroniques:

Source de refroidissement du cristal: l'azote liquide.

- Le détecteur: cristal de type HP Ge (Germanium de haute pureté).
- Le préamplificateur: placé à proximité du cristal, son rôle est de fournir une impulsion de tension qui traité par l'amplificateur.
- La haute tension (2000V): son rôle est de polariser le semi conducteur afin d'obtenir une zone désertée.
- L'amplificateur: améliore la précision de mesure.
- Le convertisseur analogique digital (numérique) ADC: reçoit à son entrée une tension analogique V_i , et délivre à la sortie un signal numérique.
- L'analyseur multi-canal MCA: sélectionne les impulsions suivant leurs amplitudes.

3.2. Méthodes

3.2.1. Echantillonnage par la méthode de filtration

Pour cette étude, nous avons récupéré des échantillons d'air à l'aide d'un système de pompage à raison d'un prélèvement par 48 heures.

En effet, la fraction inhalable, par le nez et par la bouche, des particules en suspension dans l'air n'est valable que pour des vitesses d'air inférieure 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 collection des échantillons a été effectuée durant une période de deux (02) mois.

La durée de prélèvement permet de suivre le niveau de la contamination pendant 48h pour obtenir 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 (Avino *et al.*, 2008).

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 observation concernant les facteurs climatiques (neige, pluie, vent....), afin de donner une bonne interprétation au résultat obtenu.

3.2.2. Détermination des teneurs en TSP dans les aérosols collectés

Les teneurs en TSP sont déterminés par la méthode gravimétrique (Zhang *et al.*, 2010). 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, les connaissances du poids déposé, de la durée d'échantillonnage et du débit d'air moyen d'où le volume moyen, permettent de calculer la concentration de la matière particulaire exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bouhila *et al.*, 2012).

La teneur en TSP est calculée par la formule suivante:

$$\text{TSP} = (m_2 - m_1 / V) * 1000 \text{ (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} \quad (17)$$

Sachant que :

m_1 : masse du filtre vide en mg.

m_2 : masse du filtre pollué en mg.

V : volume d'air aspiré en m^3 .

3.2.3. Détermination des teneurs en ETM de moyenne et longue périodes

3.2.3.1. Préparation des échantillons pour la technique INAA

Pour l'analyse au moyen de la technique INAA réalisée au niveau du réacteur NUR, les échantillons et les standards, sont pesés, ensuite emballés dans des feuilles en aluminium de grande pureté nucléaire, puis mis ensemble dans un même paquet en aluminium hyper pur et organisé de manière que les échantillons et les standards reçoivent le même débit neutronique.

L'emploi de plusieurs standards dans une 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. En effet, dans notre cas, nous avons utilisé 2 types de standards, à savoir le GSD 12 (poudre de Sol), est le GSS8 (standard de sol), dont la composition en éléments ainsi que les concentrations correspondantes sont connues.

- **Préparation des enveloppes en papier aluminium**

La préparation des enveloppes en aluminium a été réalisée selon la procédure suivante:

- Couper le papier aluminium de haute pureté nucléaire en rectangles (3cm x 2cm).
- Laver l'aluminium dans l'acétone, puis sécher à l'étuve.
- Plier les morceaux du papier aluminium en deux, puis replier les deux bordures pour avoir des petits paquets qui ressemblent à des enveloppes, puis peser.
- Mettre l'échantillon dans l'enveloppe à l'aide d'une spatule.
- Peser pour avoir la quantité adéquate pour cette technique.
- Plier la bordure restante pour fermer.

- **Préparation des standards**

Le standard est mis dans des enveloppes en aluminium puis pesée de la même façon que les autres échantillons.

- **Préparation des capsules**

- Couper sous forme de rectangles (6cm x 5cm) le papier aluminium de pureté nucléaire.
- Confectionner avec ce dernier une capsule sous forme de parallélépipède.
- Mettre les enveloppes des échantillons, des standards et le blanc en superposition.

En effet, les échantillons à analyser se présentent sous forme de capsules en papier aluminium. Ces dernières sont ensuite disposées dans des tubes en aluminium qui s'activent très peu sous un faisceau de neutrons.

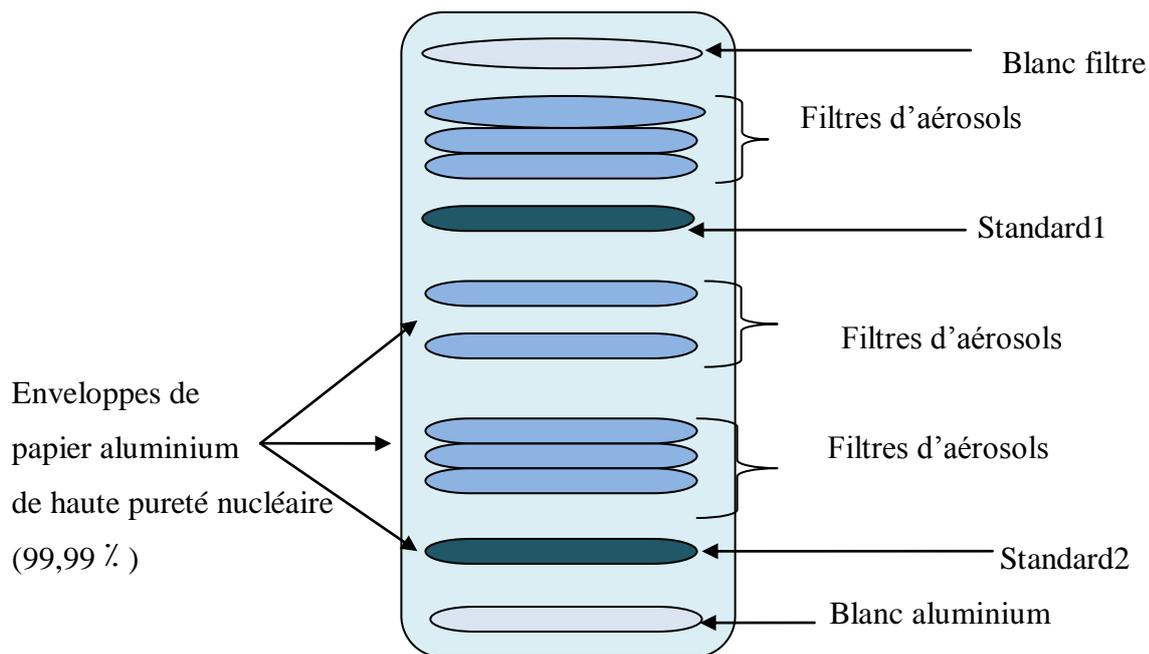


Figure II.5. : Schéma du conditionnement des échantillons dans la capsule destinée à l'irradiation

3.2.3.2. L'irradiation

La capsule contenant les échantillons et les standards a été irradiée dans le réacteur NUR sous un flux neutronique thermique d'une puissance de l'ordre 2.10^{13} n/cm².s pendant une durée de 6 heures (Avino *et al* 2013).

3.2.3.3. Le refroidissement des échantillons

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

Pour notre cas, par mesure de radioprotection, et pour ne pas perdre les éléments de moyenne et longue périodes, 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. Pour cette étape de refroidissement, deux conditions primordiales sont respectées, à savoir:

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

3.2.3.4. Analyse spectrométrique des échantillons irradiés

- **Calibration 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 de l'amplificateur en utilisant une source de cobalt 60 nécessaire pour l'analyse du spectre.
- 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. 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. 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.

- **Mesure des spectres gamma par spectrométrie gamma**

Une fois la durée de refroidissement achevée, et par mesure de radioprotection, nous avons manipulé nos échantillons irradiés dans des conditions de radioprotection strictes en présence du personnel qualifié et habilité de radioprotection.

Nous avons procédé à la décapsulation et isolement des échantillons dans des flacons propres et étiquetés selon les normes d'assurance qualité, ensuite au transfert des échantillons au système de comptage.

Une géométrie unique a été adoptée pour le comptage en faisant une pré-collection des spectres émis par nos échantillons et ceci en estimant leur temps mort qui ne devrait pas excéder 6%. Le temps d'acquisition choisi était de 5000 secondes pour chaque échantillon.

Après l'irradiation et le refroidissement nécessaire, le radio-isotope produit est identifié à travers ses trois caractéristiques physiques : intensité des rayonnements émis, période radioactive et énergie des rayonnements émis.

Cette partie du travail a été réalisée en respectant les mêmes conditions expérimentales pendant toute la période de collection des résultats, à savoir la durée de collection et la géométrie adoptée (*Greenberg et al., 2011*).

3.2.3.5. 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. 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 (*De Soete et al., 1972*).

3.2.3.6. Analyse quantitative des résultats obtenus

La phase de quantification dure plusieurs jours selon le nombre d'échantillons analysés, 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 (15) est utilisée pour calculer la masse d'un élément dans un échantillon inconnu relative à un standard.

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 :

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

Où :

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

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

- **Calcul d'erreurs**

- **Equation de calcul d'erreurs sur les TSP**

Lors de la détermination des teneurs en TSP, l'erreur relative à cette détermination est liée aux matériels utilisés et à la manipulation, nous avons utilisé une balance analytique de précision de 0.1mg et une volumétrie, en se référant à l'équation (16) l'erreur sera calculée comme suit (*De Soete et al., 1972*):

$$\Delta TSP = TSP \cdot (0,1 \cdot \sqrt{(2/3)}) / m \quad [\mu\text{g}/\text{m}^3] \quad (19)$$

Facteur 0,1: Erreur systématique de la balance (mg).

Facteur $\sqrt{(2/3)}$: Variance sur l'erreur de la balance (marge de confiance de 95%).

m: Masse en particules prélevées.

➤ **Equation de calcul d'erreurs sur les ETM**

La détermination des teneurs en ETM dans nos échantillons s'est basée sur l'équation de la méthode relative. L'erreur sur cette quantification est liée aux instrumentations (balance, chaîne de spectroscopie gamma,...). La relation de calcul d'erreur sur les ETM est donnée par la formule suivante (De Soete et al., 1972):

$$\Delta C_e = C_e \sqrt{\left(\frac{\Delta C_s}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta NET_e}{NET_e}\right)^2 + \left(\frac{\Delta NET_s}{NET_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_s}{m_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_e}{m_e}\right)^2} \quad (20)$$

ΔC_e : Erreur sur la concentration de l'élément dans l'échantillon (µg/g d'échantillon)

ΔC_s : Erreur sur la concentration de l'élément dans le standard (µg/g de standard)

$\Delta m_s/m_s$: Rapport de l'erreur sur la pesée du standard / la masse du standard

$\Delta m_e/m_e$: Rapport de l'erreur sur la pesée de l'échantillon / la masse de l'échantillon

$\Delta NET_s/NET_s$: Rapport de l'erreur sur le NET du standard / le NET du standard

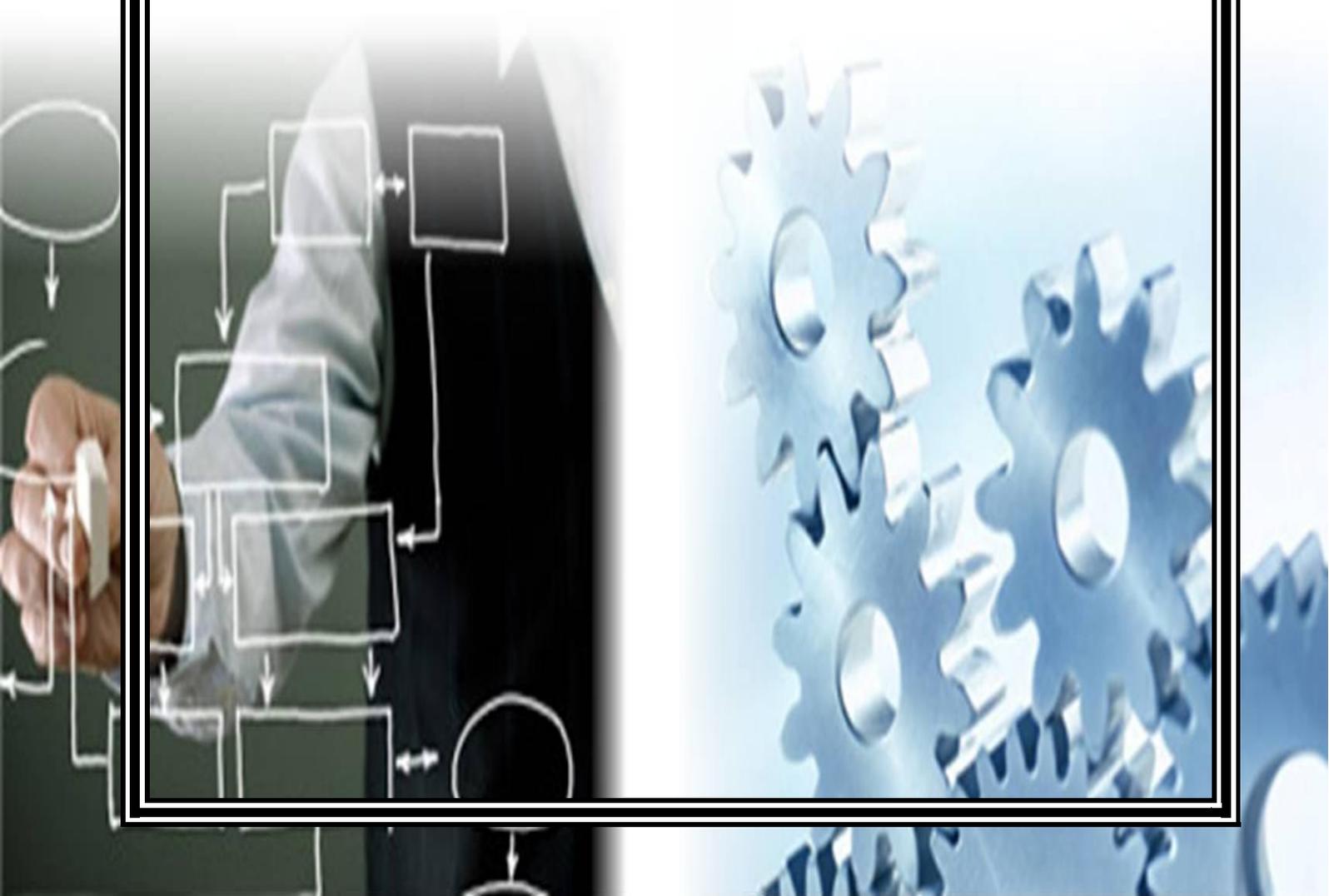
$\Delta NET_e/NET_e$: Rapport de l'erreur sur le NET de l'échantillon / le NET de l'échantillon

PARTIE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

"Quelle Terre laisserons-nous à nos enfants ?"

ed-Le Seuil



Résultats et discussion

Après l'analyse INAA des échantillons collectés, on a obtenu les résultats ci-dessous. Ces résultats illustrent le niveau de la pollution de l'air par les TSP et les ETM associés dans le site choisi.

1. Etude des concentrations en TSP

Les résultats de l'analyse des TSP sont illustrés par la figure III.1 :

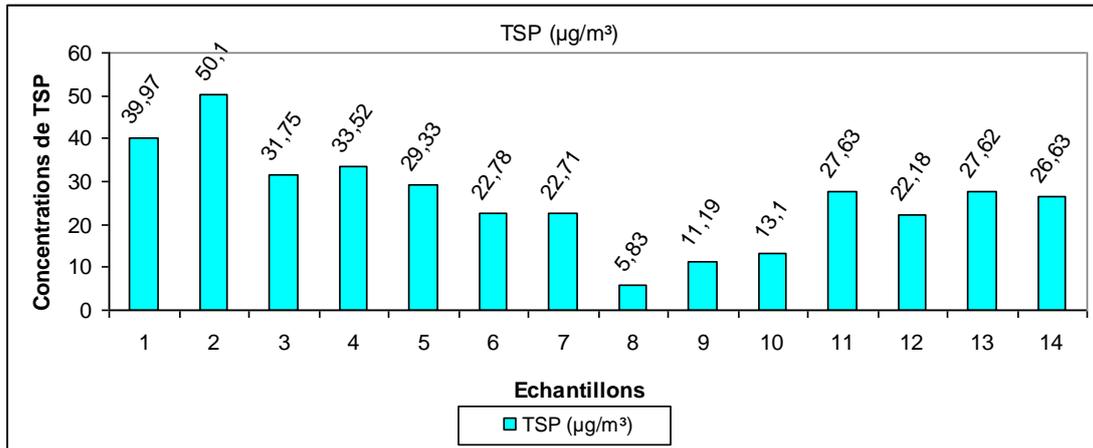


Figure III.1: Variation des teneurs en TSP.

Les teneurs détectées en TSP varient entre 5,84 µg/m³ et 50,1 µg/m³.

En général, toutes les concentrations en TSP sont inférieures aux valeurs limite Algériennes (50 µg/m³) et celles de l'OMS (80 µg/m³), sauf une seule valeur. Les conditions météorologiques jouent un rôle très important dans la dispersion des différents polluants de l'atmosphère, surtout la vitesse du vent (*Ezaz Ahmed et al., 2015*);(*Titos et al., 2014*).

2. Etude des teneurs en ETM associés aux TSP

2.1. Les ETM de moyennes périodes

Les résultats relatifs à l'analyse des ETM de moyenne période en nombre de 8 éléments, sont résumés comme suit :

Tableau III.2 : Concentrations des ETM de moyennes périodes associés aux TSP

Echantillons	Br	Sb	La	Yb	As	Sm	Mo	Na
1	5,08	1,67	0,53	0,029	5,27	0,76	2,06	534,70
2	6,06	4,20	0,59	0,05	6,72	0,88	ND	311,71
3	4,10	1,24	0,42	0,04	5,41	0,67	1,27	203,67
4	3,92	3,90	0,36	0,03	5,14	0,55	ND	185,95
5	3,23	2,58	0,44	0,031	5,41	0,75	1,25	153,19
6	3,60	1,69	0,56	0,02	5,44	0,67	ND	147,36
7	3,64	2,38	0,53	0,03	4,34	0,65	ND	148,57
8	1,27	0,29	0,10	0,01	1,75	0,15	ND	88,96
9	3,19	0,31	0,33	ND	2,37	0,21	0,71	527,98
10	3,27	0,54	0,15	0,01	2,00	0,21	0,62	161,73
11	3,02	0,96	0,32	0,02	3,89	0,45	0,97	377,56
12	3,95	2,54	0,40	0,02	4,31	0,70	1,28	227,39
13	4,33	1,11	0,48	0,03	6,12	0,74	1,98	222,93
14	3,87	1,11	0,25	0,04	5,24	0,65	ND	272,23

2.1.1. Le Brome (Br)

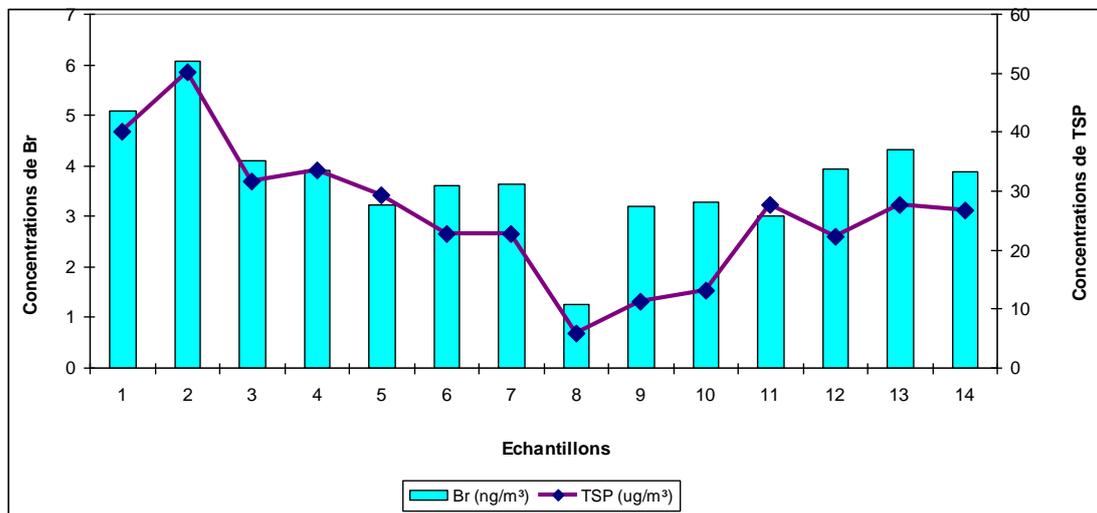


Figure III.2 : Variation des concentrations de Brome.

Les teneurs détectées en Brome sont très faible; la valeur minimale est de 1,27 ng/m³ alors que la valeur maximale est de 6,06 ng/m³.

Le Brome est un élément de trace très volatile, donc on peut suggérer que cet élément provienne principalement du trafic routier (Zhang *et al.*, 2014).

2.1.2. L'Antimoine (Sb)

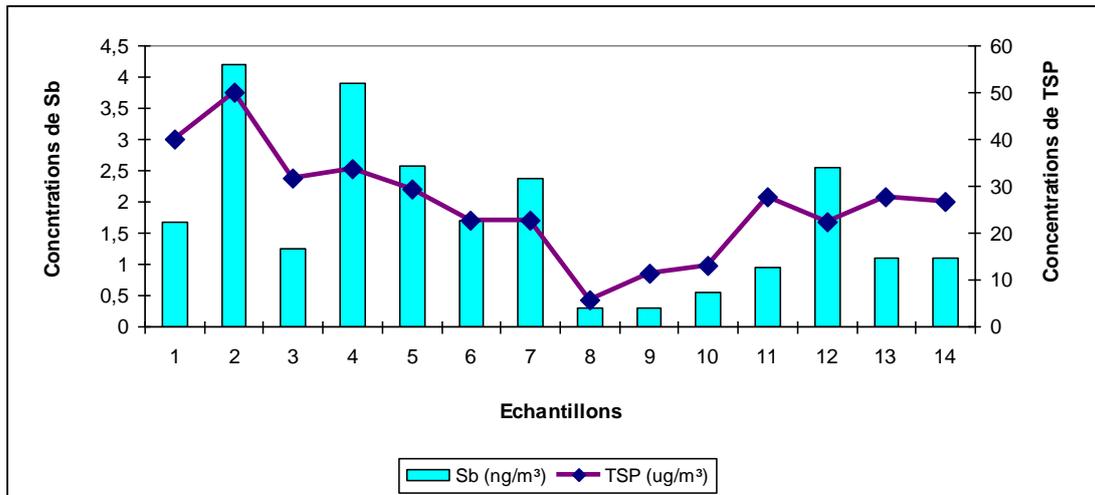


Figure III.3: Variation des concentrations d'Antimoine.

Les teneurs détectées en Antimoine varient entre $0,29 \text{ ng/m}^3$ et $4,20 \text{ ng/m}^3$.

L'Antimoine rentre dans la composition des alliages métallique et la composition de l'écorce terrestre, la présence de L'Antimoine dans nos échantillons s'explique par l'existence de l'industrie de la coloration céramique avoisinante du site de prélèvement.

2.1.3. Le Lanthane (La)

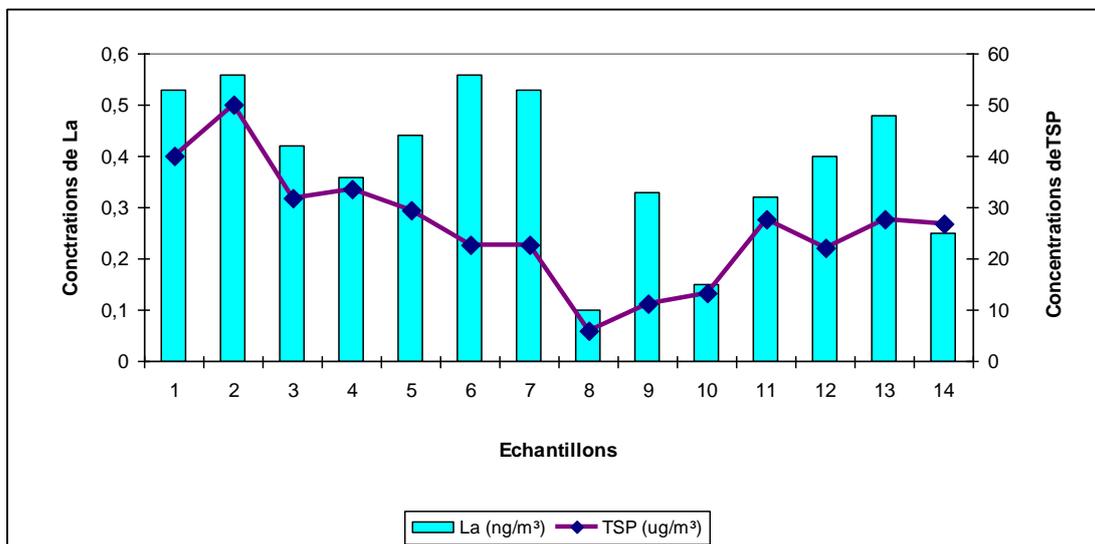


Figure III.4: Variation des concentrations de Lanthane.

Les teneurs détectées en Lanthane sont très faible; elles varient entre $0,10 \text{ ng/m}^3$ et $0,56 \text{ ng/m}^3$.

Le Lanthane est utilisé dans les alliages par exemple des pierres de briquets; l'origine de la pollution par le Lanthane s'explique par la présence des industries des céramique et de polissage situées dans la ville.

2.1.4. L'Ytterbium (Yb)

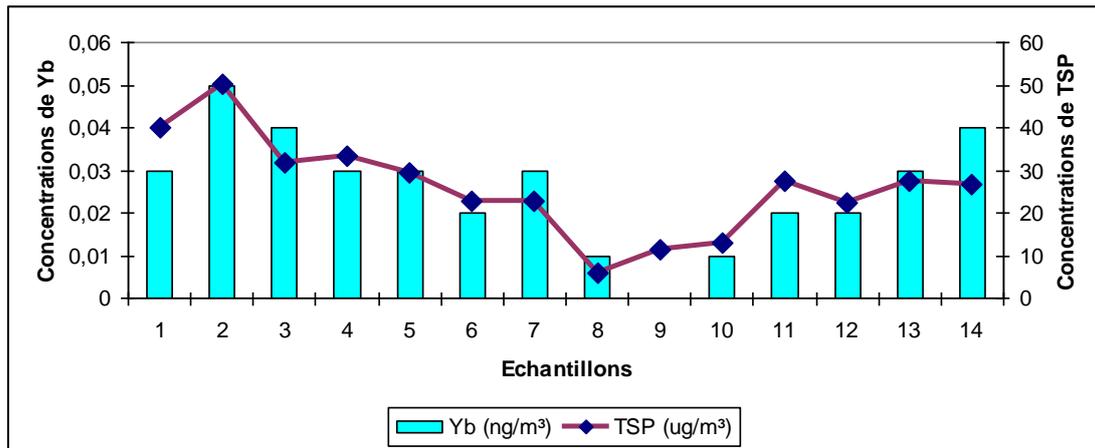


Figure III.5: Variation des concentrations d'Ytterbium.

Les teneurs détectées en Ytterbium sont très faibles; elles varient entre 0 ng/m³ et 0,05 ng/m³.

L'Ytterbium appartient à la famille des terres rares, il est utilisé en catalyse, métallurgie, et dans la fabrication des verres et céramiques.

L'Ytterbium est très dangereux à concentrations élevées car il provoque des embolies pulmonaires.

2.1.5. L'Arsenic (As)

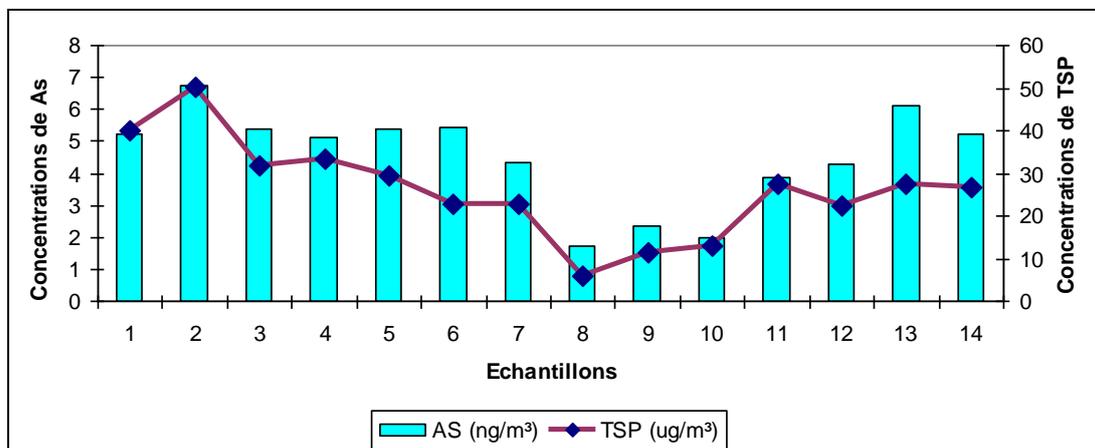


Figure III.6: Variation des concentrations d'Arsenic.

Les teneurs détectées en Arsenic varient entre 1,75 ng/m³ et 6,72 ng/m³.

L'origine de la pollution par l'Arsenic dans l'atmosphère s'explique par son utilisation dans: les batteries électriques, les herbicides, les alliages et les agents de décoloration dans l'industrie du verre.

2.1.6. Le Samarium (Sm)

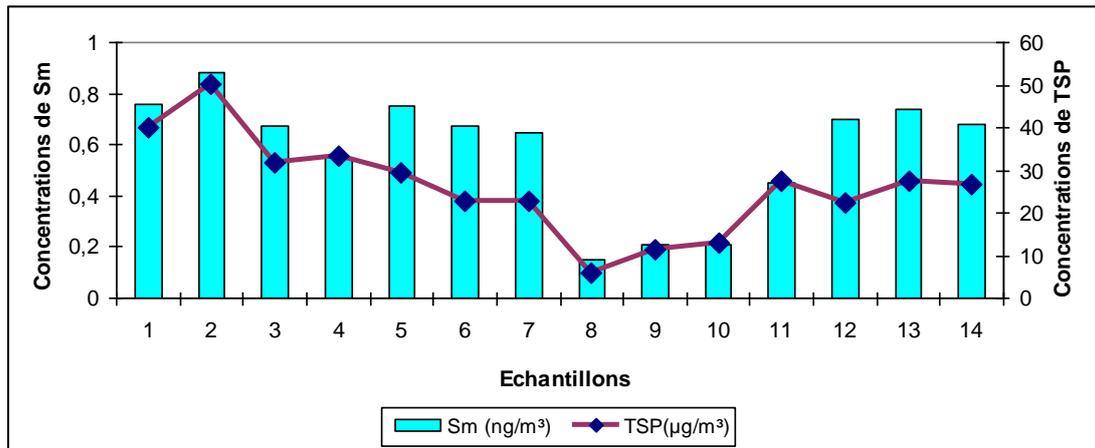


Figure III.7: Variation des concentrations de Samarium.

Les teneurs détectées en Samarium varient entre 0,15 ng/m³ et 0,89 ng/m³.

La présence du Samarium peut provenir des industries de céramique et de polissage située dans la ville.

2.1.7. Le Molybdène (Mo)

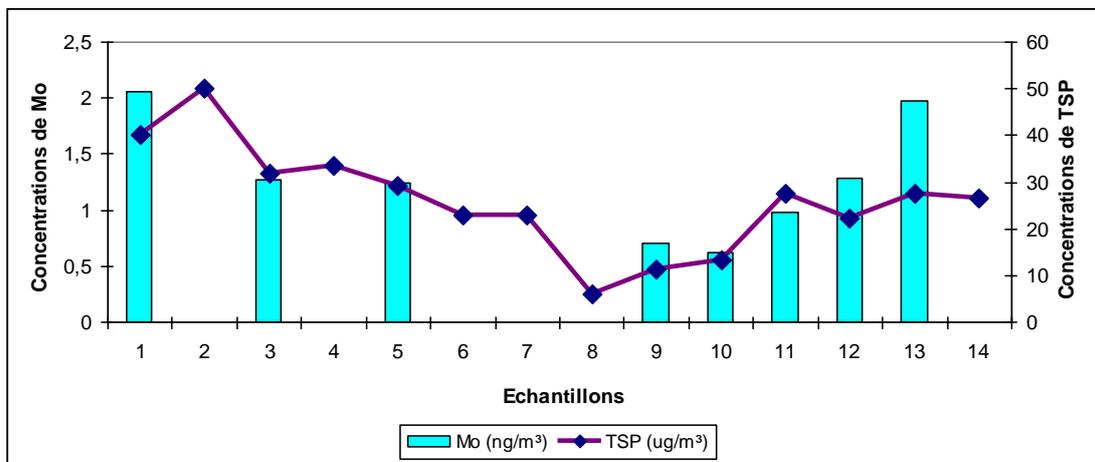


Figure III.8: Variation des concentrations de Molybdène.

Les teneurs détectées en Molybdène varient entre 0 ng/m³ et 2,06 ng/m³.

Le Molybdène est utilisé dans des alliages de haute résistance, les aciers à hauts température, l'industrie pétrolière et les encres.

La présence du Molybdène peut provenir par le milieu marin, les peintures, les plastiques et les caoutchoucs.

2.1.8. Le Sodium (Na)

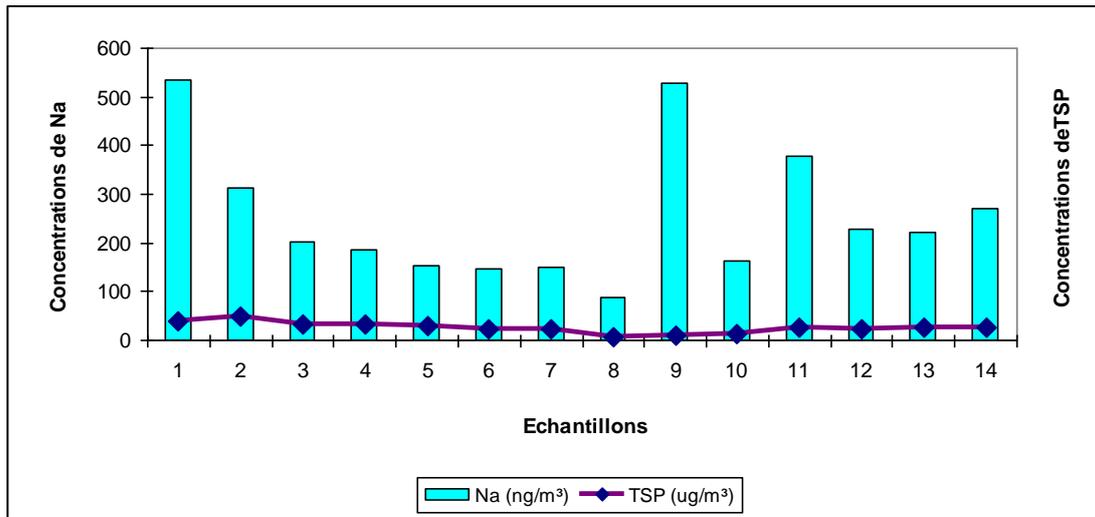


Figure III.9: Variation des concentrations de Sodium.

Les concentrations constatées en Sodium varient de 88,96 ng/m³ et 534,70 ng/m³.

Le Sodium est très abondant dans la croûte terrestre et l'eau de mer. Dans notre cas, la principale source de Sodium est la mer qui se trouve à proximité du site d'étude (environ de 7,5km).

2.2. Les ETM de longues périodes

Les résultats relatifs à l'analyse des "ETM" de longue période en nombre de 16 éléments, sont résumés comme suit :

Tableau III.3 : Concentrations des ETM de longue période

Echantillons	Zn	Fe	Cr	Sc	Cs	Se	Ce	Co
1	15,46	240,31	10,99	0,30	9,92	0,13	24,74	2,58
2	20,05	366,07	18,81	0,34	12,30	0,15	22,09	3,00
3	15,21	259,74	12,26	0,26	9,61	0,14	16,28	2,45
4	12,62	207,37	10,91	0,21	8,88	0,14	22,24	1,96
5	13,72	301,08	9,74	0,24	9,03	0,12	23,24	2,47
6	14,26	279,85	11,27	0,24	8,81	0,19	23,80	2,13
7	12,45	285,48	9,39	0,21	6,62	0,21	19,92	2,10
8	2,98	58,87	4,14	0,07	2,60	0,06	6,11	0,55
9	8,20	63,22	9,07	0,12	3,31	0,07	24,10	0,74
10	9,39	80,00	7,47	0,09	2,72	0,10	21,71	0,77
11	9,09	175,28	11,25	0,18	5,10	0,17	17,11	1,43
12	14,68	253,63	10,62	0,24	5,47	0,23	18,93	2,48
13	12,11	302,27	9,48	0,25	7,53	0,27	19,64	2,55
14	10,99	313,25	9,15	0,27	11,90	0,18	31,92	2,27

Suite du tableau III.3 :

Echantillons	Rb	Ba	Ta	Tb	Eu	Gd	Sr	Hf
1	2,23	22,22	0,50	0,22	0,23	4,94	ND	0,10
2	2,01	30,88	0,03	0,21	0,40	5,09	331,27	0,12
3	0,83	8,96	0,03	0,15	0,21	3,50	109,77	0,06
4	1,12	ND	0,32	0,14	0,13	6,95	146,87	0,08
5	1,64	18,55	0,03	0,12	0,15	6,72	144,29	0,07
6	1,38	ND	0,03	0,16	0,22	5,89	ND	0,08
7	1,23	18,71	0,02	0,16	0,20	3,52	ND	0,07
8	0,19	3,98	0,01	0,06	0,09	1,75	23,53	0,02
9	ND	6,13	0,02	0,04	0,07	7,81	ND	0,04
10	0,37	ND	0,018	0,11	0,13	3,22	ND	0,02
11	ND	ND	0,03	0,14	0,19	3,07	109,06	0,06
12	1,83	15,00	0,02	0,17	0,25	5,52	127,26	0,07
13	2,17	19,90	0,03	0,12	0,25	4,33	113,72	0,08
14	3,59	59,04	0,04	0,19	0,21	8,57	99,701	0,74

2.2.1. Le Zinc (Zn)

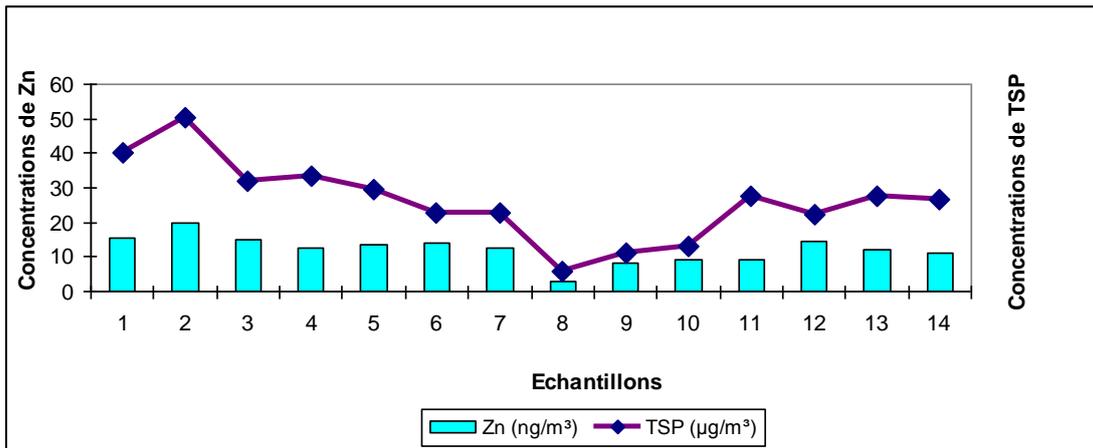


Figure III.10: Variation des concentrations de Zinc.

Des concentrations élevées de Zinc dans les échantillons ont été détectées; elles varient entre 2,98 ng/m³ et 20,05 ng/m³.

Le Zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol ; mais la présence des concentrations élevées de Zinc dans la nature est le résultat du trafic routier et des rejets des activités industrielles avoisinantes : Les processus de raffinages et l'industrie de céramique.

2.2.2. Le Fer (Fe)

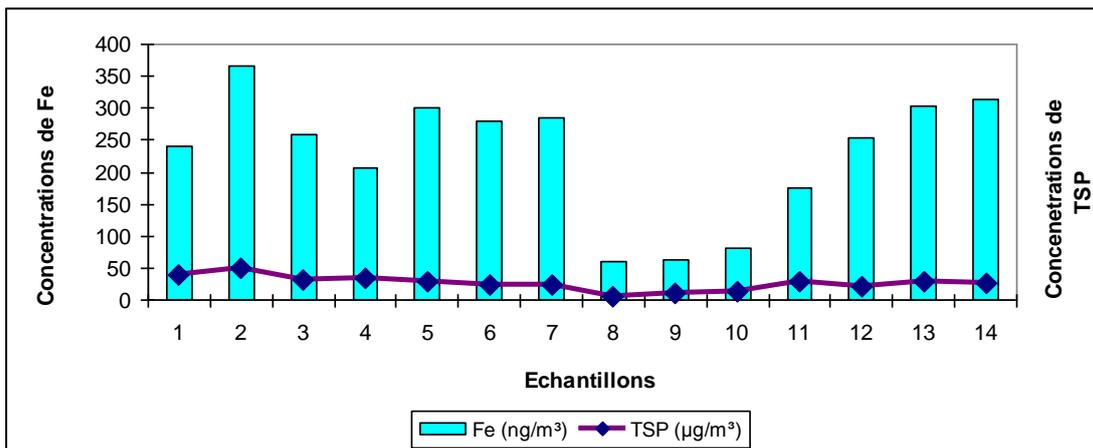


Figure III.11: Variation des concentrations de Fer.

Les concentrations de Fer sont très élevées, elles varient entre 58,87 ng/m³ et 366,07 ng/m³.

La source probable de cet élément est terrigène. Le fer pourrait provenir du trafic routier suivi du phénomène de re-suspension des particules de sol.

2.2.3. Le Chrome (Cr)

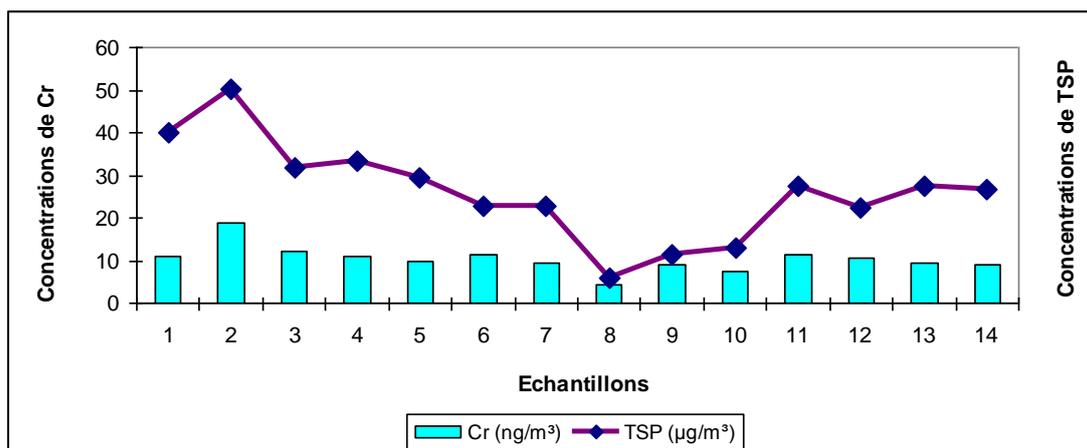


Figure III.12: Variation des concentrations de chrome.

Les teneurs détectées en Chrome varient entre $4,14 \text{ ng/m}^3$ et $18,81 \text{ ng/m}^3$.

L'origine de cet élément est la combustion d'essence, revêtements des pots catalytiques ainsi que de l'usure des jantes. A de fortes teneurs, il devient très toxique pour l'homme et les êtres vivants.

2.2.4. Le Scandium (Sc)

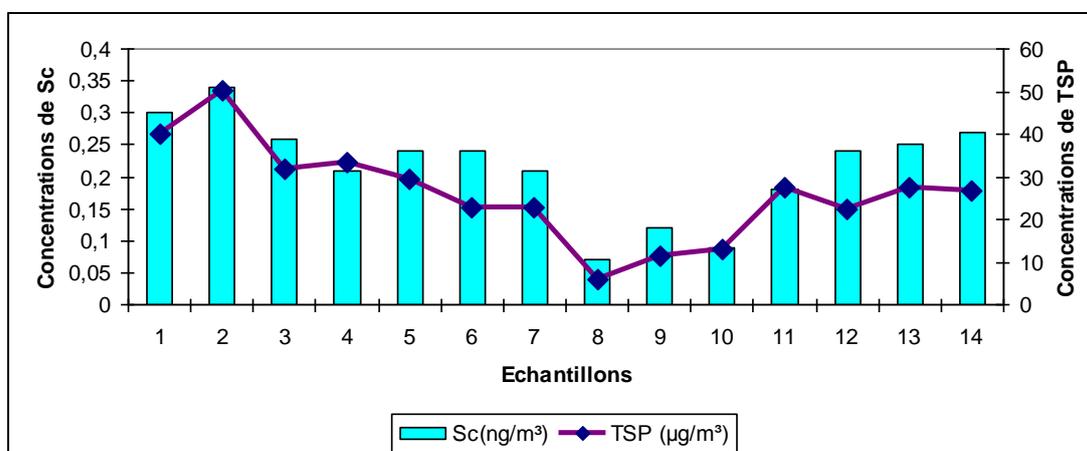


Figure III.13: Variation des concentrations de Scandium.

Les teneurs détectées en Scandium varient entre $0,07 \text{ ng/m}^3$ et $0,34 \text{ ng/m}^3$.

Les concentrations de Scandium dans notre site peuvent être rapportées à l'industrie de céramique, polissage et de briqueterie existante dans la région.

2.2.5. Le Césium (Cs)

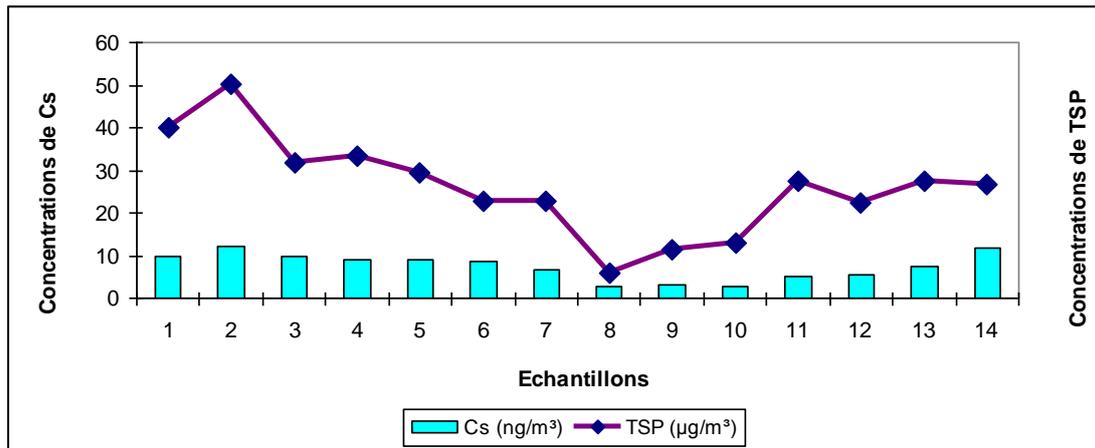


Figure III.14: Variation des concentrations de Césium.

Les concentrations de Césium varient entre 2,60 ng/m³ et 12,30 ng/m³

La présence du Césium peut provenir de l'électrolyse et la fabrication des batteries et la fabrication de verres spéciaux.

2.2.6. Le Cobalt (Co)

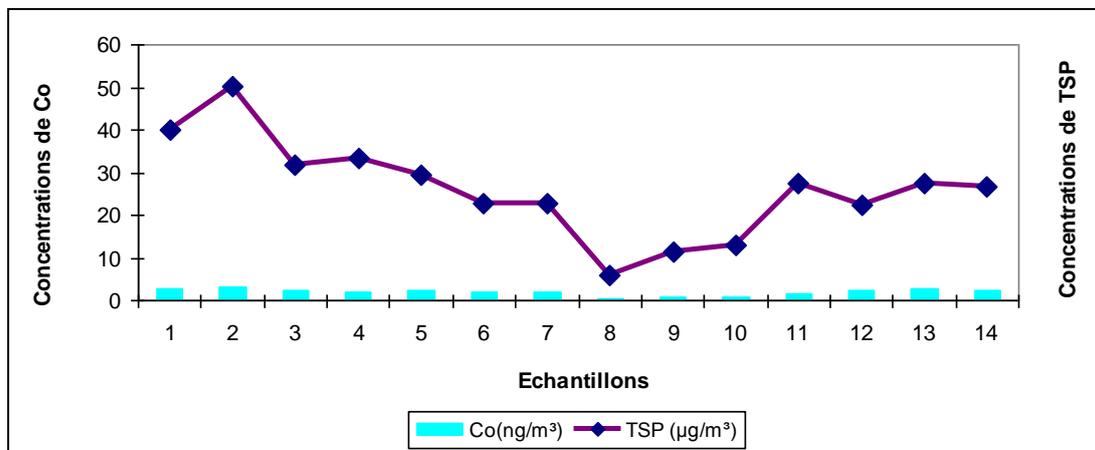


Figure III.15: Variation des concentrations de Cobalt.

Les valeurs détectées en Cobalt varient entre 0,55 ng/m³ et 3 ng/m³.

La présence du Cobalt dans l'air peut être liée aux émissions du trafic routier, mais il peut provenir aussi du sol.

2.2.7. Le Cérium (Ce)

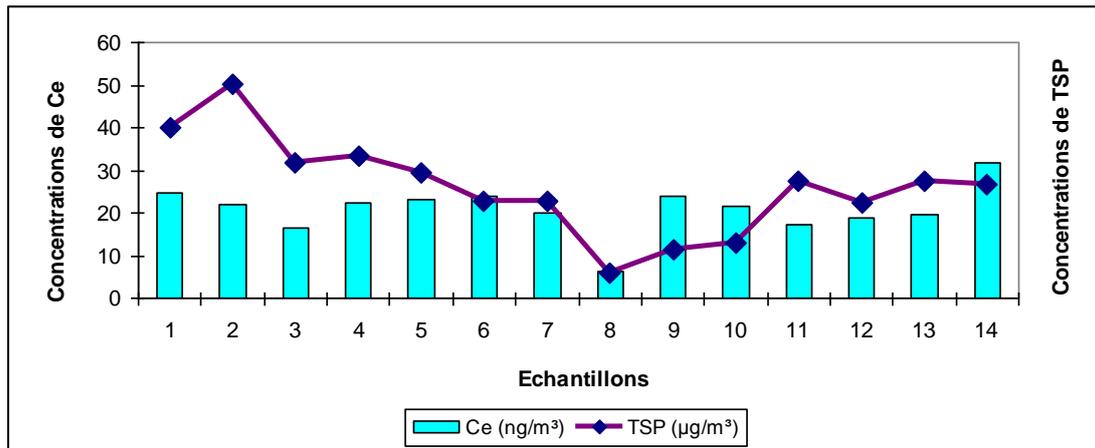


Figure III.16 : Variation des concentrations de Cérium.

La présence du Cérium varie entre 6,11 ng/m³ et 31,92 ng/m³.

La source principale de l'émission du Cérium dans notre site est naturelle et/ou trafic routier.

2.2.8. Le Rubidium (Rb)

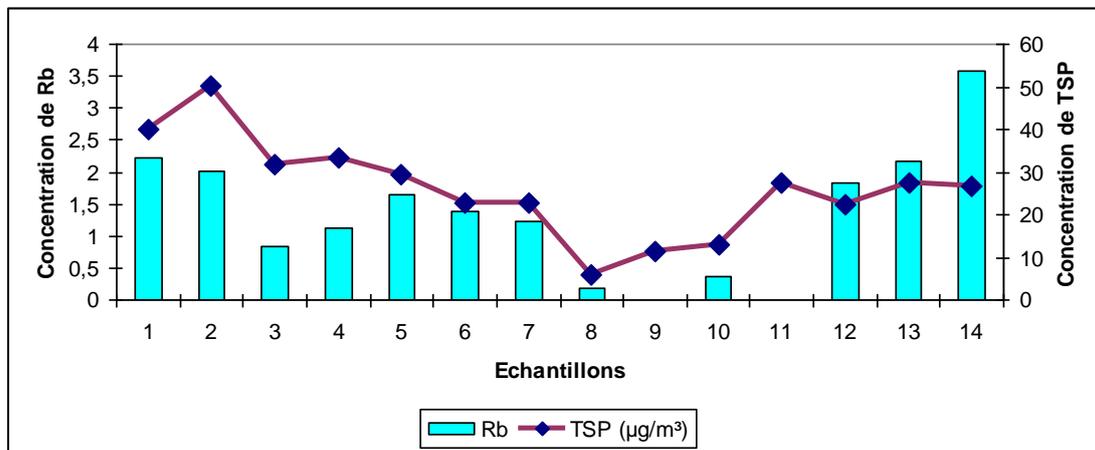


Figure III.17: Variation des concentrations de Rubidium.

Les concentrations détectées en Rubidium varient entre 0,19 ng/m³ et 3,59 ng/m³

Les sources principales de Rubidium sont la production de l'électricité et les installations photovoltaïque.

2.2.9. Le Sélénium (Se)

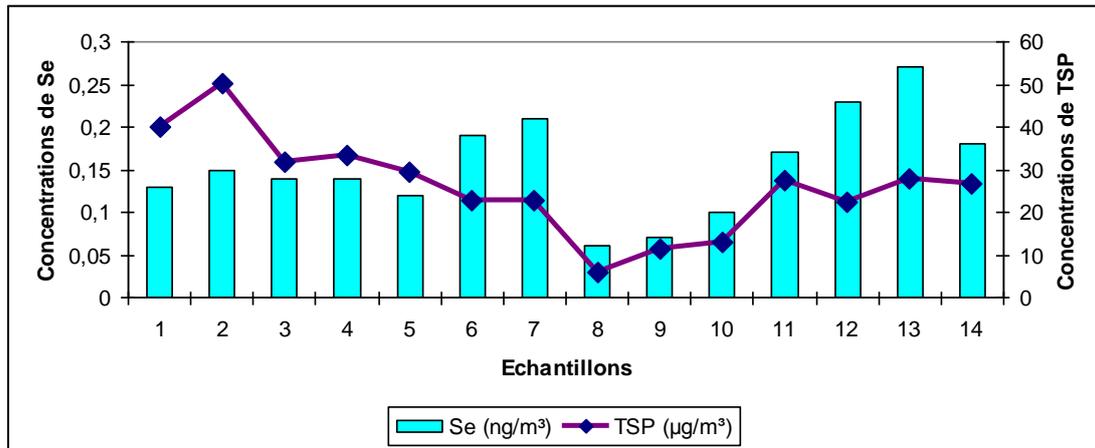


Figure III.18: Variation des concentrations de Sélénium.

Les valeurs trouvées en Sélénium sont très faibles, elles varient entre $0,06 \text{ ng/m}^3$ et la $0,27 \text{ ng/m}^3$.

La présence du Sélénium peut être expliquée par l'industrie du verre, de céramique, des peintures et des vernis.

2.2.10. Le Baryum (Ba)

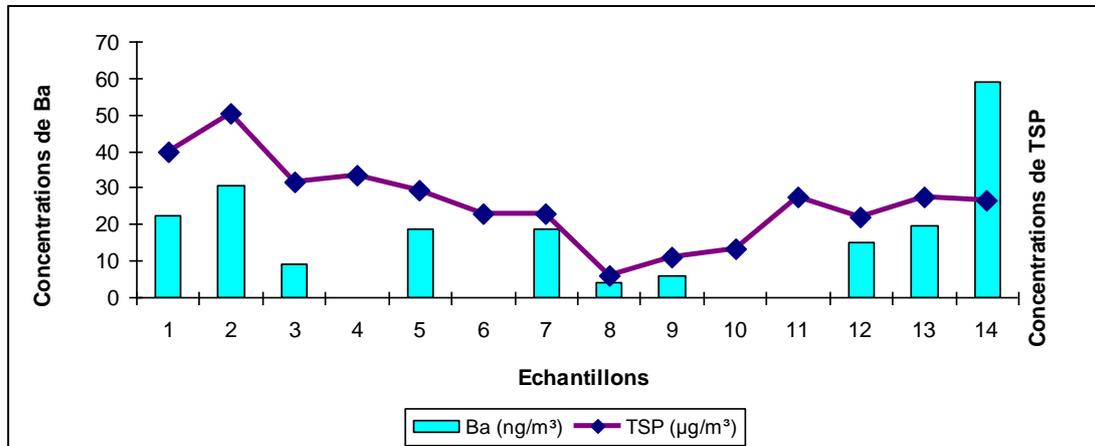


Figure III.19: Variation des concentrations de Baryum.

Les teneurs constatées en Baryum varient entre $3,98 \text{ ng/m}^3$ et $59,04 \text{ ng/m}^3$.

Le baryum est très abondant dans la roche ignée et la roche sédimentaire.

Le baryum pourrait provenir de l'industrie textile, des plastiques, du caoutchouc et dans l'industrie pétrolière et gazière (agent mouillant dans les boues de forage), ainsi que dans l'industrie de l'électronique.

La présence de baryum dans notre site peut être rapportée à l'industrie de céramique, glaçages et, verre, produits pharmaceutiques et produits cosmétiques.

2.2.11. Le Hafnium (Hf)

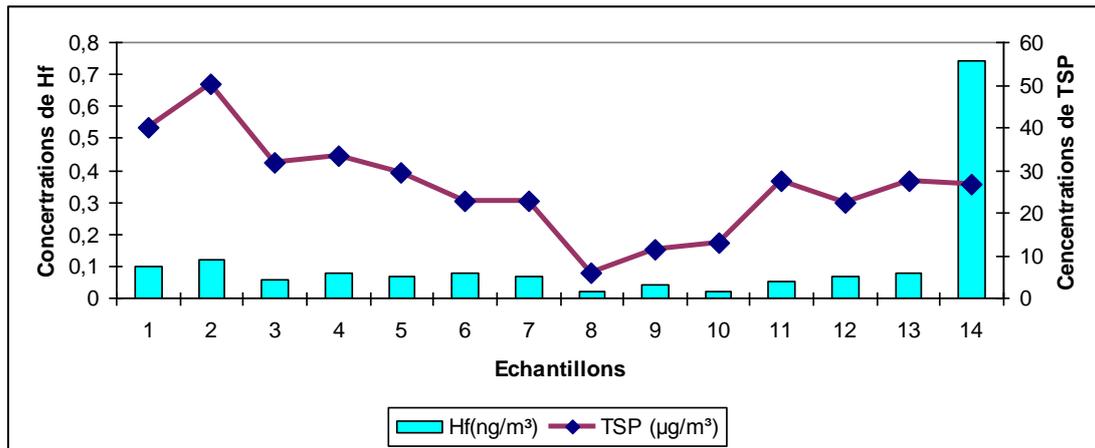


Figure III.20 : Variation des concentrations d'Hafnium.

Les teneurs détectées en Hafnium varient entre $0,02 \text{ ng/m}^3$ et $0,74 \text{ ng/m}^3$.

Le Hafnium est utilisé dans plusieurs domaines industriels comme l'industrie nucléaire, l'aéronautique et le génie chimique.

2.2.12. Le Tantale (Ta)

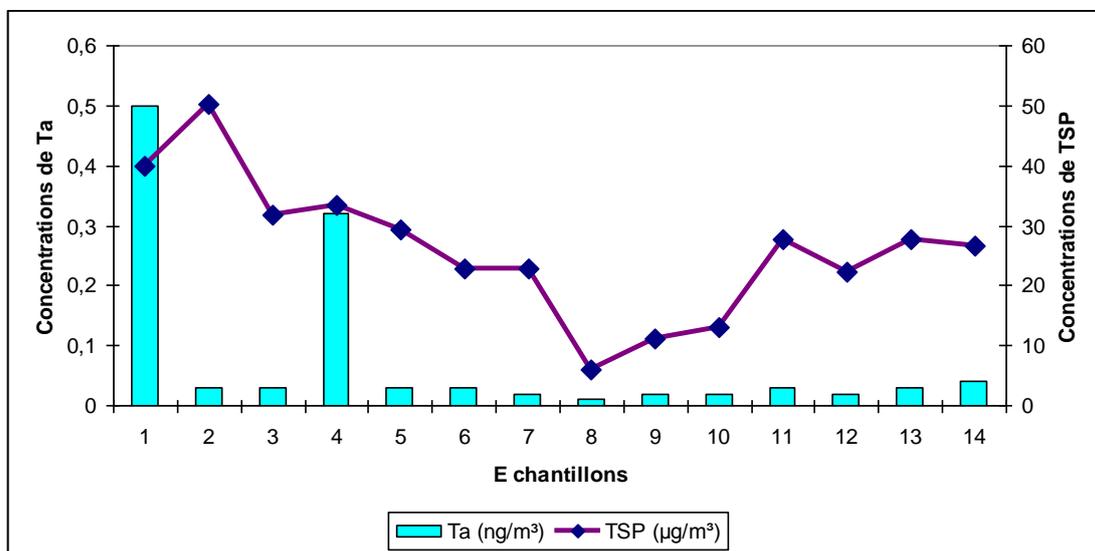


Figure III.21 : Variation des concentrations de Tantale.

Les concentrations détectées en Tantale varient entre $0,01 \text{ ng/m}^3$ et $0,50 \text{ ng/m}^3$.

La présence de Tantale peut provenir par la fabrication des échangeurs de chaleurs (le secteur de la construction d'équipements), des porteurs de charge (la construction de fours), des implants (la technologie médicale) et des composants de condensateurs (l'industrie électronique).

2.2.13. Le Terbium (Tb)

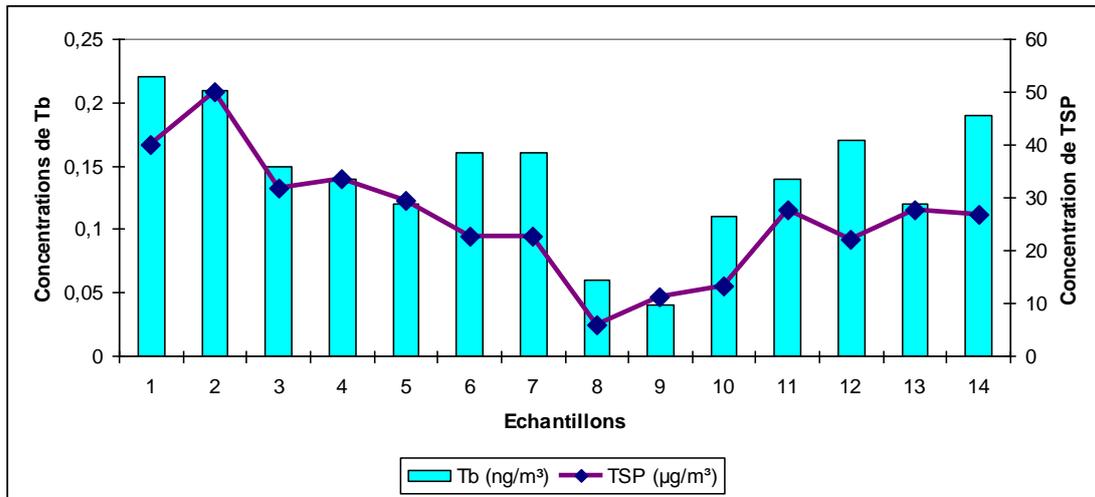


Figure III.22: Variation des concentrations de Terbium.

Les valeurs détectées en Terbium varient entre 0.04 ng/m^3 et 0.22 ng/m^3

Les principales sources sont les lampes fluorescentes, les tubes de télévisions et dans la technologie de lumière.

2.2.14. L'Europium (Eu)

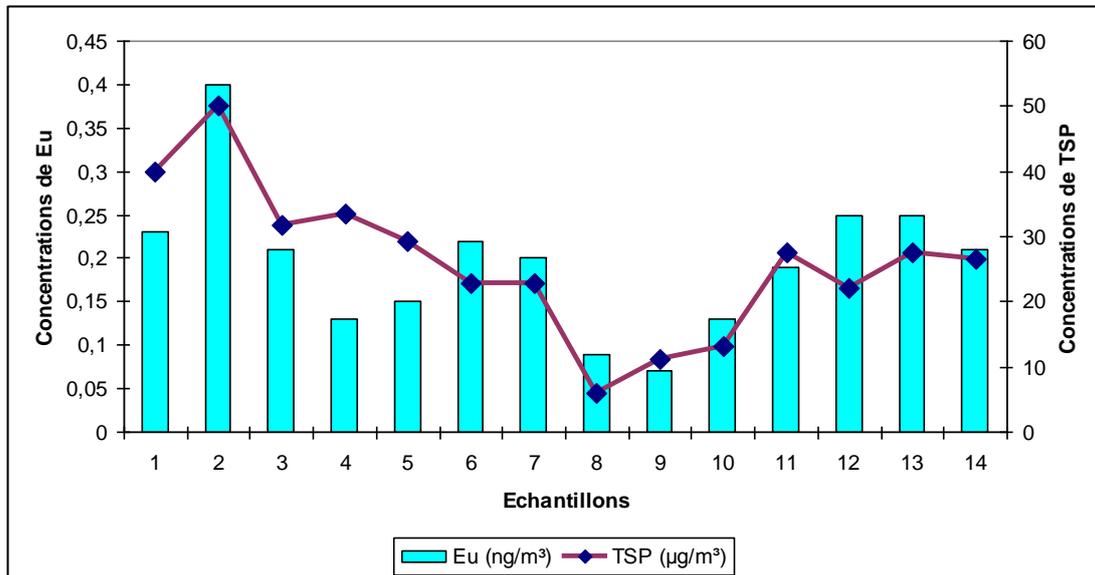


Figure III.23 : Variation des concentrations d'Europium.

Les teneurs détectées en Europium varient entre $0,07 \text{ ng/m}^3$ et 0.40 ng/m^3 .

Les principales sources d'Europium sont la fabrication de certains vers, laser et l'industrie électrique (sets de télévision et les lampes de fluorescence).

2.2.15. Le Gadolinium (Gd)

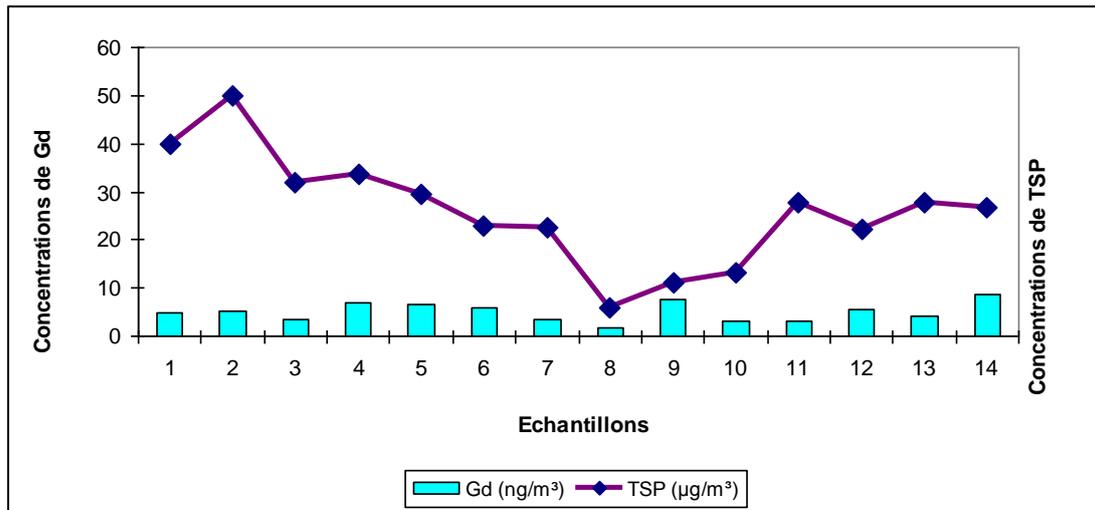


Figure III.24: Variation des concentrations de Gadolinium.

Les teneurs détectées en Gadolinium varient entre $1,75 \text{ ng/m}^3$ et $8,57 \text{ ng/m}^3$

La présence de Gadolinium peut provenir de la fabrication des composants ferrites, des lasers à rayons X, des tubes cathodiques, les alliages et des réacteurs nucléaires.

2.2.16. Le Strontium (Sr)

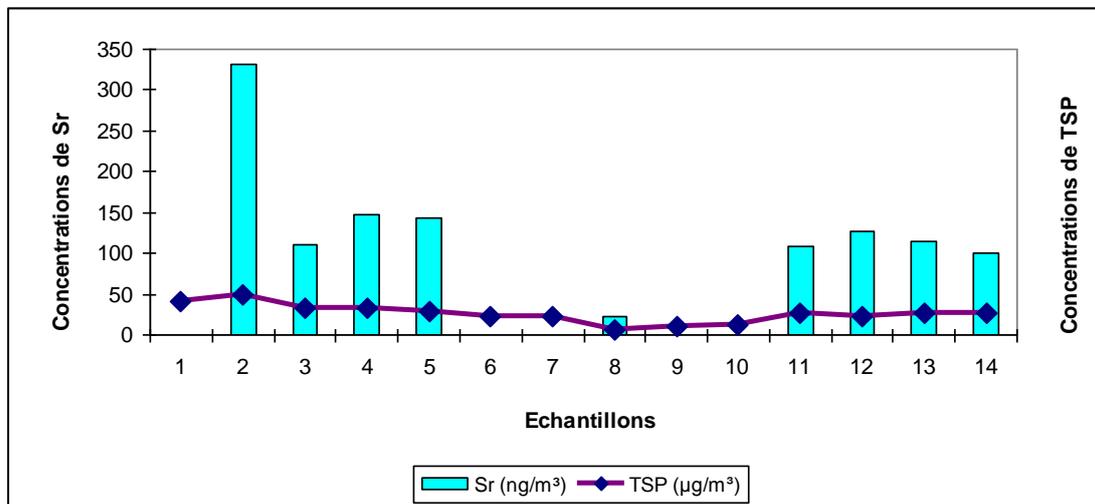


Figure III.25: Variation des concentrations de Strontium.

Les concentrations détectées en Strontium varient entre $23,53 \text{ ng/m}^3$ et $331,27 \text{ ng/m}^3$.

L'origine du Strontium peut venir de la coloration et la fabrication de céramique, les pigments, industrie catalytique et l'eau de mer.

CONCLUSION GÉNÉRALE

*" Au bout du bras du fleuve, il y a la main de sable qui écrit
tout ce qui passe par le fleuve "*

René Char



Conclusion générale

Notre travail concerne l'étude de la qualité de l'air ou la quantité totale de pollution atmosphérique produite par le trafic routier en particulier et l'activité industrielles en général au niveau du site choisi, à fin de prendre des mesures pour réduire les risque que pose cette pollution atmosphérique sur notre santé.

La majorité des éléments détectés proviennent du trafic routier qui est leur principale source d'émission ainsi que le phénomène de re-suspension du sol (érosion éolienne). Cette source de pollution est toujours préoccupante parce que le nombre de véhicules sur nos routes et autoroutes augmente dangereusement au fil des ans, ces véhicules consomment beaucoup de carburant (essence et diesel) qui sont par conséquent très polluants.

La pollution atmosphérique par différents polluants est un problème très complexe: les sources et les émissions doivent être identifiées, les méthodes analytiques doivent être évaluées et les émissions doivent être contrôlées et les aspects économiques doivent être intégrés. Toutefois, cette source de pollution est toujours préoccupante.

Notre travail mené au niveau de la ville de Draria, (lieu de prélèvement) se trouve sur les hauteurs d'Alger entre deux routes à grande circulation, à 200m par rapport au niveau de la mer. Mis à part ces deux grandes routes au voisinage du site, plusieurs activités industrielles entourent notre site de prélèvement. La durée d'échantillonnage est deux mois.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche en cours de réalisation au centre de recherche nucléaire de Draria (CRND), utilisant la méthode d'analyse par activation Neutronique Instrumentale. La méthode utilisée est la méthode d'analyse par activation neutronique instrumentale (INAA) qui est très pratique pour le dosage des éléments trace métalliques. Cependant les niveaux de concentrations obtenues en ng/m^3 expriment la sensibilité de la méthode d'analyse par activation neutronique instrumentale utilisée. Son caractère multi élémentaires et non destructif permet son application et de façon routinière, d'où le but du projet.

Les concentrations de TSP varient de $5,84 \mu\text{g/m}^3$ à $50,1 \mu\text{g/m}^3$. Nous pouvons conclure que ce niveau de pollution n'est pas inquiétant puisqu'il ne dépasse par la norme Algérienne ($50 \mu\text{g/m}^3$) sauf pour une valeur, et ne dépasse par aussi la norme de l'OMS (avec $80 \mu\text{g/m}^3$).

Nous avons identifié plus de 30 élément trace mais quantifié que 24 d'entre eux: Br, Sb, La, Yb, As, Sm, Mo, Na, Zn, Fe, Cr, Sc, Cs, Se, Ce, Co, Rb, Ba, Hf, Ta, Tb, Eu, Gd et Sr.

Le Fe, Na, Zn, et le Cr sont les éléments les plus concentrés dans l'air de Draria, ce qui peut être lié au trafic routier et aux activités industrielles avoisinantes du site de prélèvement :

usine de céramique et briqueterie, activités agricoles, incinération des déchets etc.

Les niveaux de concentrations des éléments trace trouvés par cette étude sont en général inférieurs aux valeurs limites pour la plupart des ETM identifiés et quantifiés.

La population est exposée aux substances polluantes dans l'air. Afin d'améliorer la surveillance de la qualité de l'air, il est nécessaire d'analyser le profil et la contribution des sources potentielles et rechercher des rapports spécifiques entre les éléments en fonction des saisons.

Il est important de signaler que l'absence des données météorologiques précise (vitesse et direction du vent, l'humidité de l'air, les températures et la pluviométrie....) pendant la période de prélèvement limite l'interprétation des résultats obtenus.

Pour diminuer la concentration des polluants dans l'air, nous conseillons de:

- Encourager l'utilisation des énergies alternatives et renouvelables.
- Améliorer le transport collectif pour éviter les conséquences de la motorisation croissante et véhicules usagés ou mal entretenus.
- Encourager la bicarburant Essence /GPL.
- Contrôle technique et la maintenance des véhicules.
- Placer dans les véhicules des adsorbants pour adsorbée les gaz et les particules.
- Surveiller la qualité de l'air ambiant et sa composition chimique.
- Préserver notre air pour les générations futures en faisant les implications de l'ampleur de type de pollution.
- Installer les 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.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : [http:// www.quebec.ca/chimie/cinétique-chimique/CHAP_6](http://www.quebec.ca/chimie/cinétique-chimique/CHAP_6).
- [2] : Journal officiel de le République Algérienne Démocratique et Populaire, du 08 février 1983 Loi no 83-03 du 08 février 1983 relative à la protection de l'environnement.
- [3] :Analyse par méthodes nucléaires chrome HTML document.
- [4] : <http://www.Cindynies.org/iec-lettre-pollution>, G.Thibaut, "Le risque de la pollution atmosphérique en milieu urbain.
- Anonyme, (2005). <http://www.google.com/>
- Almeida, S. M., Canha, N., Silva, A., Fritas, M. D.C., Pegas, P., Alves, C., Evlyugina, M., Adria, P.c., (2011). Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. *Atmos. Environ.* 45, 7594–7599.
- ARPAM, La qualité de surveillance de l'air en France – Conté, Réseau de surveillance de la qualité de l'air, Bilan 2004.
- Avino P., Capannesi G., Rosada A., (2007) instrumental neutron activation analysis, a powerful instrument in determining environmental pollution: theory and application.
- Avino P., Capannesi G., and Rosada A., (2008) Heavy metal determination in atmospheric particulate matter by Instrumental Neutron Activation Analysis, *Microchemical Journal* 88` 97-106.
- Avino, P., Capannesi, G., Renzi, L., Rosada, A., (2013). Instrumental neutron activation and statistical approach for determining baseline values of essential and toxic elements in hairs of high school students. *Ecotox. Environ. Safety* 92, 206–214.
- Ayad R., et Cherifi Y., (2006).Evaluation de la pollution atmosphérique après les TSP à Alger centre Thèse : 33-45.
- Bliefert P., (2001). *Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sol, Déchets*. édition De boeck Université ISBN 2-7445-0086-0.
- Bliefert P., 2008. *Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sol, Déchets*. 2ème édition française De boeck Université ISBN 978-2-8041-5945-0

- Bouhila, Z., Lounici, H., Mouzai, M., Nedjar, A., Azli, A., Zergoug, Z., Chegrouche, S., (2012). The Nuclear Power in the Service of the Environment: Atmospheric Trace Element Determination Using Neutron Activation Analysis. (Proc. Of the 2nd Int. Sym. on Environment-Friendly Energies and Applications EFEA 2012, Northumbria University UK) 523–528
- Calvo, A.I., Alves, C., Castro, A. Pont, V., Vicente, A.M., Fraile, R., (2013). Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues. *Atmos. Res.* 120–121, 1–28.
- Chaboun F. et Timechmachine R., (2007). Evaluation de la pollution atmosphérique par les métaux lourds en milieu urbain : Cas de Bab El Oued. Thèse USTHB : 46-50.
- Choaib M., Rahmani M., (2010). Evaluation de la pollution atmosphérique par les métaux lourds au niveau d'un site urbain de la ville de Draa Ben Khedda par la technique de spectrométrie à fluorescence X (XRF), université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou 63.74.75.
- Chris W., & Neill Stacey, (2005) “Occupational Toxicology” 2nd Edition by ISBN 0-203-99722-0 Mastre e-book ISBN. International Standard Book Number 0-7484-0918-1.
- Chassot E., Barbotteau Y., Oudadesse H., et Irigaray J. L., (2004). Evaluation par PIXE dans des coupes minces de la migration de certains éléments relargués par des implants métalliques. Laboratoire de physique corpusculaire, CNRS-IN2P3, France. Copyright © Published by Editions scientifiques médicales Elsevier SAS : 2-4.
- CITEPA Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution.
- Contini, D., Cesari, D., Genga, A., Siciliano, M., Ielpo, P., Guascito, M.R., Conte, M., (2014). Source apportionment of size-segregated atmospheric particles based on the major water-soluble components in Lecce (Italy). *Sci. Total Environ.* 472, 248–261.
- Couriers F. P., Person A., Le Moullec Y., (1990). Connaissance atmosphérique en milieu urbain : représentativité biologique et difficultés météorologiques », *Poll. Atm*, pp 21-30,) Atmosphérique, www.citepa.org.
- De Soete D., Gijbels R. and Hoste J. (1972). Neutron Activation Analysis. Chemical analysis, Wiley-Interscience, vol 34 :311.
- Di Benedetto, (1997). Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation des métaux lourds dossier SAM

Directive 96/62/CE.

Directive européenne (Réf. 2008/50/CE) du 21 mai 2008.

Dockery D.W., Speizer F.E., Stram D.O., Ware JJH, Spengler G.T., Ferris BGJR (1989).
Effects of inhalable particules on respiratory health of children.

Ehmann W. D. and Vance D.E., (1991). Radiochemistry and nuclear methods of analysis.
John Wiley & sons, New York.

Elichergartacy. C., (2008). La pollution de l'air : sources, effets, prévention. Edition Dunod,
1-40.

Esteban R., (2006). Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée
des friches métallurgique : vers de nouvelle méthodes de biodépollution » thèse de
doctorat, Université Jean Monnet, Faculté des sciences et techniques.

Ezaz, A., Ki-Hyun, K., Zang-Ho, S., Sang-Keun, S., (2015). Long-term trend of airborne
particulate matter in Seoul, Korea from 2004 to 2013. Atmos. Environ. 101, 125 –133.

Flottard E, (2000). Analyse et arts. Dossier technique-axe procédés.

Fontan J., (2003). Les pollutions de l'air, les connaître pour les combattre. Edition Vuivert :
34- 39.

Feng, L., Xiang-yun, Z., Chang-hua, W., Zhi-peng, D., Yan-mao, W., Guo-ru, H., Xiao-lin,L.,
Min-Jian, L., Man-Jie, L., and Jiang-Yu, X., (2013). Ecological Risks Assessment and
Pollution Source Identification of Trace Elements in Contaminated Sediments from the
Pearl River Delta, China. Biol. Trace Element Res. 155, 301–313.

Gombert S., (2005). Pollution atmosphérique par les métaux. Edition EDP Sciences. 9-13.

Goyil G., Le mesurage des métaux toxiques, Laboratoire Central de la police, AIRPARIF,
Rapport annuel 2000.

Greenberg, R. R., Bode, P., De Nadal Fernandes, E. A., (2011). Neutron activation analysis:
A primary method of measurement. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 66,
193–241.

Hamdad N., (2002). Protection internationale de l'environnement : entre prise de conscience
et mise en œuvre. Thèse ENP56-62.

Henry Augier, 2008. Le livre noire de l'environnement, édition Alphée, 500p.

Hinds W.C., (1982). Aerosol technology, Wiley Interscience, London.

Ikawa K ,1997.Trace analyses atmospheric, Jonh Wiley et Sons, London.

Jorapd, Décret exécutif n° 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspond au 15 Avril 2006, réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules, Liquides ou solides ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

Jose R. Peralta-V.M., Laura L., Mahesh N., (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants : Implications for the food Chain. The international journal of biochemistry and Cell Biology, 41: 1665-1677.

Journal officiel N°24 du 16 avril, 2006.

Journal officiel N°43 du 20 juillet, 2003.

Journal Officiel N°84 du 29 décembre 2004.

Kiss A., (2004). Droit international de l'environnement 3^{ème} édition. Edition Pedone 256 – 257.

Krzyzanowski M., (2005). La pollution atmosphérique par les particules en suspension : ses effets nuisibles sur la santé. EURO/04/05, Centre européen de l'environnement et de la santé de l'OMS : 1.

Larssen S., Sluyter R., Helmis C., (1999). Criteria for EUROAIRNET the EEA air Quality Monitoring and Information Network, European Environment Agency.

Le Bouffant L., (1988). Pollution Atmosphérique par les Aérosols Solides et Liquides. Appareils de prélèvement et de mesure. Techniques de l'Ingénieur, Analyses Chimiques et Caractérisation Mesure et Analyse. Vol. p. 4.316 :16.

Masclet P., (2005). Pollution atmosphérique causes, conséquences, solutions, perspectives.

Masson & Cie, (1967). PERDIJON « L'analyse par activation neutronique » Paris.

Matteini M., Lalli C., and Tosini I., (1991). Examination of the soluble components of patinas by means of ion chromatography and atomic absorption. In : ODP restauro : rivista dell'Opificio delle pietre dure Laboratorio di restauro di Firenze, 3, pp. 40-46.

Meguellati F., (2006). Modélisation et simulation de la réactivité d'un polluant en atmosphère par la méthode des différences fines application aux oxydes d'azote.

- Ming-Ho Y., (2004). Environmental Toxicology : Biological and Health Effects of Pollutants (seconde édition). ISBN1-56670-670-X.
- OFEFP, Emissions polluantes du trafic routier de 1980 à 2030, Cahier de l'Emission N°355.
- OFEFP, Particules fines (PM10) : Situation actuelle, Stratégie et mesures, 01 juillet 2005.
- Oikawa K., (1999). Analyse des Echantillons Atmosphériques, Centre de Recherches Nucléaire, Alger, 32p.
- Wayne P., (1992). Atmosphère chimique : the evolution of our atmosphere", Photochem Photobiol.
- Penttinen P., Timonen K. L., Tiittanen P., Mirme A., Ruuskanen J., Pekkanen J., (2001). Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *Europ. Respir. J.*, 17, 428-35.
- Petit-Coviaux F., Person A., Le Moullec Y., Courtois Y., Festy B., Dufour G., and Brochard P., (1990). Knowledge atmospheric particles in urban environment : biological representativeness and metrological difficulties. *Journal of Pollution atmosphérique* ISSN 0032-3632 CODEN POATBH vol. 32, n°125 :21-30.
- Ping Z., Murray B., Mc B., Hanping X., (2009). Health risk from Heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China'', *sciences of the total Environment* 407 1551 – 1561.
- Querol X., Castillo S., Moreno T., Alastuey A., Cuevas Herrmann L., Mounkaila M., and Gibbons W., (2008). Trace element variation in size-fractionated African desert dusts, *Journal of Arid Environments*, Volume 72, Issue 6, June 2008, Pages 1034-1045. doi : 10.1016/j. jaridenv.2007.12.007.
- Ramade F., (1992) : Précis d'écotoxicologie. Edition Masson : 22.
- Revel G, (1977). L'analyse par activation des métaux purs. Monographie sur les Métaux de Haute Pureté, G. Chaudron, Masson édit, , V2, p. 20-68.
- Richard W., Boubel Donald L., Fox D. (1994). Bruce Turner and Arthur C. Stern. *Fundamentals of Air Pollution*. Academic press. Third edition, Elsevier (USA) :243-273.
- Robache A., François M., Jean-Claude G., Benoit H., Bruno M., et Mezrag M., (2001). Prélèvement et analyse des métaux dans les particules en suspension dans l'air ambiant. Ecole des mines de Douai, Département chimie et environnement. Etude n°4 :4-6.
- Robert L., (1975). La pollution", édition GRAMMONT, S.A, Lausanne.

- Roszbach M., Jayasekera R., and Kniewald G., (2000). Large scale air monitoring biological indicators versus air particulate matter. IAEA-Tec Doc- 1152 :71-80.
- Saeid Hosseini M., Foroogh B.,(2009). Cr (III)/Cr(VI) speciation determination of chromium in water samples by luminescence quenching of quercetin, *Journal of Hazardous Materials* 165 : 1062-1067.
- Shackley M.S.,. (2011). *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, Springer Science+Business Media, LLC.
- Singh .K., Hasan S.H., Talat M., Singhc V.K., and Gangwarc S.K., (2009). Removal of Cr (VI) from aqueous solutions using wheat bran, *Chemical Engineering Journal*, 151:113 – 121.
- Talidi A., (2006). Etude de l'élimination du Chrome et du bleu de méthylène en milieux aqueux par adsorption sur la pyrophyllite traitée et non traitée. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V-Agdal Faculté des sciences.
- Titos, G., Lyamani, H., Pandolfi, M., Alastuey, A., Alados-Arboledas, L., (2014). Identification of fine (PM1) and coarse (PM10-1) sources of particulate matter in an urban environment. *Atmos. Environ.* 89, 593–602.
- Whitby K., (1976). Physical characterization of aerosol, in *methods and standards for Environmental measurement*, National Bureau of Standards, Special publication No 464, Proceedings of 8th IMR Symposium, 165 – 163.
- Xue W., YI A., Zhang Z.Q., (2009). A New Competitive Adsorption Isothermal Model of Heavy Metals in Soils. *Pedosphere* 19(2): 251-257 2009 ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P SSSC.
- Zhang, W., Zhang, G., Guo, J., Xu, D., Wang, W., Baumgardner, D., Wu Z., Yang W., 2010. Sources of aerosol as determined from elemental composition and size distributions in Beijing. *Atmos. Res.* 95 , 197–209.
- Zhang, N., Cao, J., Liu, S., Zhao, Z., Xu, H., Xiao, S., 2014. Chemical composition and sources of PM_{2.5} and TSP collected at Qinghai Lake during summertime. *Atmos. Res.* 138, 213–222.

ANNEXES

Annexe 1 : Exemple d'un spectre d'acquisition des données de la spectrométrie gamma

ORTEC g v - i (37) Wan32 G53W2.12 09/04/20115 14:14:32 Page 1

DPAN/CRND Spectrum name: 06102004b.An1

Sample description

06102004b - GSV4

Spectrum Filename: C:\User\Spectres\SP061020b\06102004b.An1

Acquisition information

Start time: 05/04/20115 20:38:03

Live time: 5400

Real time: 5415

Dead time: 0.28 %

Detector ID: 1

Detector system

DTNLABAAN MCB 337

Calibration

Filename: 06102004b.Spc

Eu152, Ba133 et Am241 - Etalon IAEA-Geo6

Energy Calibration

Created: 24/02/2015 10:58:10

Zero offset: 0.207 keV

Gain: 0.500 keV/channel

Quadratic: -1.877E-08 keV/channel²

Efficiency Calibration

Created: 03/04/2015 14:18:31

Knee Energy: 120.00 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 (10.20keV)

Stop channel: 4048 (2023.25keV)

Peak rejection level: 100.000%

Peak search sensitivity: 3

Sample Size: 1.0000E+00

Activity scaling factor: $1.0000E+00 / (1.0000E+00 * 1.0000E+00) =$
1.0000E+00

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 (37) Wan32 G53W2.12 09/04/2015 14:14:32 Page 2

DPAN/CRND Spectrum name: 06102004b.An1

Activity range factor: 2.000

Min. step backg. energy 0.000

Multiplet shift channel 2.000

Corrections	Status	Comments
Decay correct to date:	YES	01/07/1985 00:00:00
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: 0.1443

***** UNIDENTIFIED PEAK SUMMARY *****

Channel	Energy	Counts	Counts	Cts/Sec	1 Sigma	% keV	Nuclide
---------	--------	--------	--------	---------	---------	-------	---------

59.26	30.00	13150.	3203.	0.593	5.36	0.960	TE-131 D
66.73	33.73	9672.	744.	0.138	19.06	0.964	CS-134 D
71.17	35.95	10834.	1048.	0.194	14.39	0.966	XE-138 D
81.51	40.95	13250.	4219.	0.781	6.86	2.238	BA-139 s
92.89	46.34	8379.	692.	0.128	19.08	0.976	PU-239 D
101.09	50.43	7746.	702.	0.130	18.13	0.980	EU-154 D
115.74	57.76	6511.	298.	0.055	38.69	0.986	TH-234 D
126.23	63.30	5530.	486.	0.090	32.77	0.947	TH-234
135.41	67.92	4484.	181.	0.034	52.72	0.995	NP-239 D
145.37	72.90	4789.	181.	0.033	54.73	1.000	TL-208 D
149.81	75.12	4672.	299.	0.055	32.88	1.002	TH-234 D
169.55	84.67	4583.	235.	0.044	41.21	1.011	TA-182 D
184.65	92.22	3610.	207.	0.038	41.73	1.018	BR-82 D
326.68	163.50	1393.	182.	0.034	44.13	1.023	U-235 s
394.92	197.65	1177.	140.	0.026	35.68	1.112	KR-89 D
614.60	307.92	675.	42.	0.008	88.67	1.207	TB-160 D
1021.35	510.75	549.	260.	0.048	14.15	1.378	TL-208 D
1041.88	520.96	219.	56.	0.010	54.52	0.731	AU-196 sM
1086.28	543.15	284.	128.	0.024	31.97	1.601	TE-131 sM
1622.23	811.03	454.	217.	0.040	15.48	1.613	CO-58 D
1670.35	835.14	494.	271.	0.050	13.09	1.631	MN-54 D
1698.40	849.08	350.	76.	0.014	40.81	1.426	Y-88
4004.00	2001.27	70.	14.	0.003	85.22	0.000	- s

s - Peak fails shape tests.

D - Peak area deconvoluted.

M - Peak is close to a library peak.

ORTEC g v - i (37) Wan32 G53W2.12 09/04/2013 14:14:32 Page 3

DPAN/CRND Spectrum name: 06102004b.An1

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

Nuclide	Peak	Centroid	Background	Net Area	Intensity	Uncert	FWHM
Channel	Energy	Counts	Counts	Cts/Sec	1 Sigma %		keV
Lu-177m	107.76	54.07	7021.	80.	0.015	148.00	0.983D
Sm-153	138.98	69.67	5240.	0.	0.000	1000.00	0.997D
J-131	159.00	79.68	3576.	49.	0.009	173.18	0.168s
EU-155	172.73	86.54	4060.	211.	0.039	43.21	1.012D
CD-109	175.71	88.03	3979.	64.	0.012	139.00	1.014D
Nd-147	181.86	91.11	3685.	11.	0.002	788.28	1.017D
GD-153	194.51	97.43	2981.	871.	0.161	9.49	1.022D
NP-239	198.75	99.55	4421.	137.	0.025	69.19	1.024D
TA-182	199.86	100.11	3441.	112.	0.021	74.48	1.025D
Sm-153	206.01	103.18	3028.	800.	0.148	10.35	1.027D
GD-153	206.01	103.18	3408.	0.	0.000	15.92	1.177D
NP-239	207.17	103.76	3758.	0.	0.000	1000.00	1.028D
EU-155	210.26	105.31	3198.	0.	0.000	1000.00	1.029D
Lu-177m	210.37	105.36	3141.	57.	0.011	139.27	1.029D
NP-239	211.90	106.12	2921.	29.	0.005	268.16	1.030D
Yb-169	219.22	109.78	2839.	201.	0.037	38.19	1.033D
LU-177	225.56	112.95	2757.	89.	0.017	83.64	1.036D
Lu-177m	225.56	112.95	1236.	0.	0.000	1000.00	0.000D
YB-175	227.27	113.81	2690.	83.	0.015	88.68	1.037D
NP-239	233.66	117.00	2549.	1.	0.000	8398.26	1.040D
SE-75	241.90	121.12	3397.	120.	0.022	69.08	1.044D
EU-152	243.23	121.78	2662.	624.	0.116	12.35	1.044D
EU-154	245.81	123.07	3774.	164.	0.030	53.66	1.045D

Ba-131	247.28	123.81	2743.	458.	0.085	16.84	1.046D
Lu-177m	257.56	128.94	1204.	59.	0.011	102.69	0.932
HF-181	265.72	133.02	2181.	475.	0.088	14.63	1.054D
W-187	268.17	134.25	966.	0.	0.000	0.00	0.172D
SE-75	271.68	136.00	2022.	135.	0.025	47.85	1.057D
MO-99	280.70	140.51	1860.	67.	0.012	91.77	1.061D
FE-59	284.98	142.65	2145.	133.	0.025	50.05	1.063D
CE-141	290.56	145.44	1697.	3088.	0.572	2.61	1.065D
TA-182	304.55	152.43	1681.	61.	0.011	95.83	1.071D
Lu-177m	306.19	153.25	1952.	43.	0.008	144.84	1.072D
Lu-177m	348.44	174.37	1326.	65.	0.012	79.96	1.091D
Yb-169	354.12	177.21	1414.	193.	0.036	28.48	1.093D
MO-99	361.84	181.07	1399.	11.	0.002	469.57	1.097D
FE-59	384.46	192.37	1570.	215.	0.040	45.65	1.510s
Yb-169	395.63	197.96	1185.	132.	0.024	37.98	1.112D
Lu-177m	407.84	204.06	1131.	3.	0.001	1365.89	1.117D
Lu-177m	416.45	208.36	885.	39.	0.007	108.57	1.121D
LU-177	416.46	208.37	876.	0.	0.000	126.79	0.649D
Ba-131	431.50	215.89	1068.	349.	0.065	21.61	1.208s
TA-182	441.00	220.63	1215.	15.	0.003	368.33	0.000s
NP-239	455.81	228.03	614.	0.	0.000	1000.00	1.138
Lu-177m	456.34	228.30	464.	32.	0.006	117.92	0.772
TA-182	458.08	229.17	614.	0.	0.000	1000.00	1.139
EU-152	489.15	244.70	925.	119.	0.022	37.19	1.153D
EU-154	495.61	247.93	918.	38.	0.007	114.23	1.156D
SN-113	511.56	255.90	1020.	80.	0.015	98.43	1.005s
TA-182	527.86	264.05	593.	0.	0.000	1000.00	1.170
SE-75	529.12	264.67	480.	113.	0.021	37.47	1.086
NP-239	554.97	277.60	643.	36.	0.007	101.20	1.182D
HG-203	558.17	279.20	763.	46.	0.009	86.01	1.183D
SE-75	558.86	279.54	753.	51.	0.010	76.86	1.183D
Lu-177m	563.34	281.78	742.	51.	0.009	77.38	1.185D
YB-175	564.82	282.52	723.	34.	0.006	114.66	1.186D

J-131	568.39	284.30	680.	60.	0.011	62.29	1.188D
TB-160	596.95	298.58	680.	109.	0.020	35.16	1.199D
Pa-233	600.47	300.34	662.	0.	0.000	0.00	0.303D
SE-75	607.64	303.92	702.	16.	0.003	242.76	1.204D
Pa-233	624.14	312.17	840.	0.	0.000	0.00	1.428D
K-42	625.00	312.60	664.	367.	0.068	11.22	1.211D
Lu-177m	637.88	319.04	1770.	28.	0.005	211.88	1.217D
Nd-147	638.63	319.41	1983.	0.	0.000	1000.00	1.218D
CR-51	639.97	320.08	640.	1352.	0.250	3.80	1.218D
Lu-177m	655.13	327.66	577.	33.	0.006	105.08	1.225D
LA-140	657.34	328.76	541.	56.	0.010	60.27	1.226D
Pa-233	681.44	340.81	626.	67.	0.012	54.41	1.236D
EU-152	688.39	344.28	631.	370.	0.068	10.93	1.239D
HF-181	691.68	345.93	918.	65.	0.012	67.56	1.240D
J-131	728.63	364.40	244.	9.	0.002	302.46	0.825
Ba-131	746.34	373.25	581.	144.	0.027	25.05	1.263D
Lu-177m	756.87	378.51	551.	34.	0.006	98.43	1.268D
SN-113	783.23	391.69	368.	32.	0.006	87.27	1.279D
TB-160	784.88	392.51	422.	55.	0.010	54.17	1.280D
YB-175	792.52	396.33	541.	45.	0.008	74.85	1.283D
SE-75	801.18	400.66	389.	1.	0.000	2107.15	1.286D
EU-152	822.10	411.11	456.	41.	0.008	74.95	1.295D
AU-198	823.48	411.80	548.	0.	0.000	1000.00	1.296D
Lu-177m	827.28	413.70	527.	11.	0.002	296.12	1.297D
Lu-177m	836.90	418.51	425.	10.	0.002	286.93	1.301D
SB-125	855.64	427.88	332.	76.	0.014	36.01	1.309D
LA-140	864.88	432.49	439.	17.	0.003	174.86	1.313D
Nd-147	879.69	439.89	427.	27.	0.005	110.07	1.319D
EU-152	887.85	443.98	478.	75.	0.014	43.06	1.323D
SB-125	926.79	463.44	318.	22.	0.004	169.57	0.960
W-187	959.03	479.55	414.	0.	0.000	0.00	0.625D
HF-181	964.29	482.18	414.	327.	0.061	10.40	1.354D
LA-140	973.97	487.02	447.	112.	0.021	28.40	1.358D

Ba-131	992.59	496.33	405.	224.	0.041	14.37	1.366D
RU-103	994.11	497.08	562.	53.	0.010	65.36	1.366D
Sr-85	1027.95	514.00	520.	209.	0.039	16.92	1.380D
Nd-147	1062.10	531.07	290.	54.	0.010	67.71	1.041
BR-82	1108.68	554.35	294.	0.	0.000	0.00	1.246D
As-76	1118.19	559.10	499.	43.	0.008	74.73	1.417D
SB-122	1128.47	564.24	487.	114.	0.021	28.82	1.421D
CS-134	1138.66	569.33	438.	239.	0.044	13.97	1.425D
EU-154	1185.23	592.60	249.	53.	0.010	61.11	1.305
SB-125	1201.22	600.60	470.	54.	0.010	58.00	1.450D
Ga-72	1201.92	600.95	651.	8.	0.001	448.13	1.450D
SB-124	1205.48	602.73	1014.	274.	0.051	17.54	1.452D
CS-134	1209.47	604.72	619.	1370.	0.254	3.73	1.453D
RU-103	1220.69	610.33	475.	64.	0.012	49.50	1.458D
BR-82	1238.25	619.11	420.	0.	0.000	0.00	1.046D
Ba-131	1237.72	618.84	498.	130.	0.024	46.26	1.106s
Ga-72	1259.97	629.96	347.	17.	0.003	154.65	1.473D
SB-125	1271.96	635.95	517.	0.	0.000	1000.00	1.478D
J-131	1274.03	636.99	434.	25.	0.005	121.71	1.479D
SB-124	1292.00	645.97	248.	4.	0.001	610.95	0.000s
As-76	1314.17	657.05	494.	40.	0.007	79.27	1.495D
AG-110M	1315.59	657.76	560.	42.	0.008	80.96	1.495D
CS-137	1323.39	661.66	359.	0.	0.000	1000.00	1.498D
W-187	1375.92	687.91	484.	36.	0.007	99.46	1.395
EU-154	1384.95	692.42	282.	0.	0.000	1000.00	1.523D
SB-122	1385.40	692.65	294.	33.	0.006	75.26	1.523D
BR-82	1396.85	698.37	444.	15.	0.003	203.75	1.527D
NB-94	1405.35	702.62	430.	11.	0.002	274.49	1.531D
AG-110M	1413.48	706.68	439.	34.	0.006	89.78	1.534D
SB-124	1445.69	722.78	368.	44.	0.008	63.73	1.546D
EU-154	1446.74	723.30	442.	6.	0.001	526.02	1.546D
ZR-95	1448.52	724.20	395.	15.	0.003	188.68	1.547D
MO-99	1478.42	739.14	365.	35.	0.006	90.73	0.526s

LA-140	1503.42	751.64	340.	7.	0.001	384.94	1.568D
ZR-95	1513.61	756.73	483.	0.	0.000	1000.00	1.572D
EU-154	1513.76	756.80	412.	71.	0.013	41.85	1.572D
AG-110M	1528.05	763.94	437.	50.	0.009	60.47	1.578D
TB-160	1530.72	765.28	501.	0.	0.000	1000.00	1.579D
NB-95	1531.78	765.81	403.	49.	0.009	59.91	1.579D
BR-82	1553.21	776.52	227.	21.	0.004	104.46	1.587D
MO-99	1556.01	777.92	399.	6.	0.001	503.60	1.589D
EU-152	1557.98	778.90	403.	55.	0.010	53.44	1.589D
CS-134	1591.92	795.86	410.	830.	0.154	4.90	1.602D
CS-134	1604.10	801.95	389.	100.	0.019	29.48	1.606D
LA-140	1631.75	815.77	368.	0.	0.000	26668.14	1.617D
BR-82	1655.87	827.83	228.	0.	0.000	1000.00	1.626D
Ga-72	1668.28	834.03	736.	46.	0.008	85.17	1.630D
EU-152	1735.03	867.39	493.	51.	0.010	62.65	1.655D
LA-140	1735.94	867.85	577.	12.	0.002	278.83	1.656D
NB-94	1742.44	871.09	540.	8.	0.001	407.28	1.658D
EU-154	1746.64	873.19	490.	13.	0.002	246.58	1.660D
TB-160	1759.03	879.38	504.	71.	0.013	46.60	1.664D
AG-110M	1769.64	884.68	504.	53.	0.010	61.21	1.668D
SC-46	1778.83	889.28	535.	5911.	1.095	1.41	1.672D
Ga-72	1788.78	894.25	411.	2.	0.000	1320.18	1.675D
LA-140	1839.40	919.55	193.	3.	0.001	608.10	1.694D
LA-140	1850.68	925.19	277.	37.	0.007	65.72	1.698D
AG-110M	1875.39	937.54	208.	48.	0.009	49.22	1.940
EU-152	1928.60	964.13	264.	64.	0.012	37.97	1.726D
TB-160	1932.68	966.17	278.	54.	0.010	45.93	1.727D
EU-154	1992.89	996.26	160.	22.	0.004	83.17	1.748D
TB-160	2006.14	1002.88	181.	28.	0.005	69.96	1.753D
EU-154	2009.83	1004.72	167.	29.	0.005	64.81	1.755D
BR-82	2088.42	1044.00	57.	5.	0.001	229.16	1.783D
Ba-131	2095.62	1047.60	99.	22.	0.004	66.71	1.785D
Ga-72	2101.80	1050.69	111.	8.	0.001	196.47	1.787D

RB-86	2154.49	1077.02	155.	3056.	0.566	1.96	1.828
EU-152	2172.28	1085.91	68.	49.	0.009	27.98	1.812D
EU-152	2179.86	1089.70	90.	22.	0.004	63.79	1.815D
FE-59	2199.43	1099.48	120.	777.	0.144	4.56	1.716
EU-152	2224.71	1112.12	365.	62.	0.011	45.42	1.830D
TB-160	2230.72	1115.12	1969.	0.	0.000	1000.00	1.832D
ZN-65	2231.58	1115.55	214.	1776.	0.329	2.64	1.833D
SC-46	2241.58	1120.55	1735.	3392.	0.628	2.44	1.836D
TA-182	2243.09	1121.30	3310.	1784.	0.330	5.14	1.837D
CO-60	2347.01	1173.24	49.	420.	0.078	5.42	1.872D
TB-160	2356.47	1177.96	72.	29.	0.005	45.38	1.875D
TA-182	2379.08	1189.26	23.	33.	0.006	32.17	1.937s
EU-152	2426.48	1212.95	22.	7.	0.001	106.65	1.899D
As-76	2432.74	1216.08	33.	5.	0.001	184.40	1.901D
TA-182	2443.40	1221.41	24.	19.	0.003	43.61	1.904D
TA-182	2462.62	1231.01	19.	30.	0.006	34.83	0.696s
SB-122	2514.48	1256.93	6.	5.	0.001	77.08	0.574s
EU-154	2550.40	1274.88	24.	13.	0.002	70.92	0.691s
FE-59	2583.85	1291.60	33.	511.	0.095	4.70	1.950D
EU-152	2598.92	1299.12	20.	3.	0.001	187.00	1.955D
BR-82	2633.67	1316.49	11.	8.	0.001	78.23	0.750s
CO-60	2666.23	1332.77	15.	371.	0.069	5.65	1.641
CS-134	2731.11	1365.19	20.	28.	0.005	29.78	1.998D
SB-124	2737.06	1368.16	26.	12.	0.002	66.62	1.999D
NA-24	2738.74	1369.00	37.	4.	0.001	251.00	2.000D
AG-110M	2769.60	1384.42	12.	14.	0.002	56.05	1.526
EU-152	2817.31	1408.27	5.	65.	0.012	13.97	2.558s
Ga-72	2930.00	1464.58	9.	2.	0.000	290.52	0.000s
BR-82	2948.00	1473.57	2.	2.	0.000	164.43	0.154s
AG-110M	3009.67	1504.39	8.	4.	0.001	107.15	0.448s
K-42	3050.22	1524.66	2.	3.	0.001	88.19	0.814s
LA-140	3193.41	1596.21	32.	10.	0.002	89.66	2.139D
EU-154	3193.98	1596.49	43.	0.	0.000	1000.00	2.139D

Ga-72	3194.35	1596.68	16.	27.	0.005	28.28	2.139D
SB-124	3383.54	1691.22	3.	64.	0.012	13.38	2.272
Ga-72	3720.00	1859.35	1.	4.	0.001	71.00	0.175s

Annexe 2: Tableau périodique des éléments

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

<http://www.ktf-split.hr/periodni/fr/>

PÉRIODE	GROUPE 1 IA		GROUPE 2 IIA										GROUPE 13 IIIA										GROUPE 14 IVA										GROUPE 15 VA										GROUPE 16 VIA										GROUPE 17 VIIA										GROUPE 18 VIIIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481

*Annexe 3: Extrait de la table d'Adams & Dams d'attribution des énergies
des photons gamma aux éléments*

Energy	Intensity	Parent- Associated -rays		
			427.883, 377.385	
133.5152	11.0911	¹⁴⁴ Ce(284.893d) - 80.120,	142.62829	0.018718 ⁹⁹ Tc(6.01h) - 140.511, 2.1726
40.98, 33.568			142.6522	1.024 ⁵⁹ Fe(44.503d) - 1099.251,
133.997	33	¹⁹⁷ Hg(23.8h) - 279.01, 130.2,	1291.596, 192.349	
201.6			143.24920	0.432 ²³⁷ Np(2.144 10 ⁶ y)- 29.374,
134.2436	8.8516	¹⁸⁷ W(23.72 h) - 685.774,	86.477, 94.66	
479.531, 72.001			143.7642	10.968 ²³⁵ U(7.038 10 ⁸ y)- 185.712,
135.344	2.56518	²⁰¹ Tl(72.912h) - 167.43, 32.19,	163.358, 205.309	
30.60			143.871	0.048822 ²³⁰ Th(7.538 10 ⁴ y)- 67.67,
135.503	0.112	¹⁹³ Pt(4.33d) - 12.634, 1.642	253.73, 186.05	
135.61	0.475	⁸⁶ Zr(16.5h) - 242.80, 29.10,	144.23210	3.227 ²²³ Ra(11.435 d) - 269.459,
612.00			154.21, 323.871	
135.909	3.2419	²⁰⁰ Pt(12.5h) - 76.21, 243.71,	144.445	0.20518 ²²⁴ Ac(2.78h) - 156.82, 140.7,
59.97			261.3	
136.00016	58.37	⁷⁵ Se(119.779d) - 264.6576,	144.78025	3.9 10 ⁻⁷ ¹²⁵ Te(57.40d) - 35.4919,
279.5422, 121.1155			109.276	
136.26613	5.8519	¹⁸¹ Hf(42.39 d) - 482.182,	144.8635	0.32811 ¹⁷⁵ Yb(4.185d) - 396.329,
133.024, 345.916			282.522, 113.805	
136.26613	0.031110	¹⁸¹ W(121.2 d) - 6.238, 152.315	144.996	0.19224 ²⁵³ Fm(3.00d) - 271.8, 62.47,
136.47435	10.688	⁵⁷ Co(271.79d) - 122.0614,	405	
14.41300, 692.03			145.0413	83 ⁷² Zn(46.5 h) - 191.96, 16.4,
137.1578	9.426	¹⁸⁶ Re(3.7183d) - 122.30	103.14	
137.1578	41	¹⁸⁶ Ir(16.64 h) - 296.90, 434.84,	145.25210	4.2913 ¹²⁷ Xe(36.4d) - 202.860,
773.28			172.132, 374.991	
137.1578	23.023	¹⁸⁶ Ir(1.90 h) - 1.5, 767.497,	145.440528	48.23 ¹⁴¹ Ce(32.501d)
630.34			145.440528	0.23924 ¹⁴¹ Nd(2.49h) - 1126.8, 1292.6,
138.73311	0.0039125	¹³⁴ Cs(2.903h) - 127.5021,	1147.2	
11.242			145.54410	²⁴¹ Cm(32.8d) - 471.805,
138.9385	4.2720	¹⁹³ Os(30.11h) - 460.547,	430.634, 205.879	
73.042, 557.429			1465	0.0035 ²⁴⁶ Cf(35.7h) - 42.13, 96
139.035	13.910	²⁵² Es(471.7d) - 924.12, 800.01,	146.0720	3.55 ²⁰⁰ Au(18.7h) - 332.82, 59.97,
785.09			133.23	
139.12	44.620	¹⁸⁴ Hf(4.12 h) - 344.9, 181.0,	146.157	27.011 ¹⁷⁹ Hf(25.05d) - 453.43, 362.39,
41.4			122.793	
139.6348	12.73	¹⁷³ Hf(23.6h) - 123.672,	146.212	0.0896 ⁴⁴ Ti(63y) - 78.337, 67.875
296.974, 311.239			146.3452	†355 ²²⁹ Ac(62.7m) - 164.522, 569.1,
139.91	27.4620	¹⁴⁷ Tb(1.7h) - 1152.4, 694.4,	261.92	
119.7			146.3452	0.0986 ²²⁹ Pa(1.50 d) - 40.09, 64.70,
140.5111	89.4323	⁹⁹ Mo(65.94h) - 739.50,	75.12	
181.063, 777.921			146.45	0.213 ¹⁴⁶ Pm(5.53y) - 453.88, 735.72,
140.5111	89	⁹⁹ Tc(6.01h) - 142.628, 2.1726	589.3	
140.71	0.323	²²⁴ Ac(2.78h) - 156.82, 144.44,	146.45	²³⁹ Cm(2.9h) - 187.1, 41
261.3			146.45	0.0125 ²⁴³ Bk(4.5h) - 187.1, 536, 41
140.862	0.0214	²³² Th(1.405 10 ¹⁰ y)- 63.83	146.594	37.316 ⁷⁷ Kr(74.4 m) - 129.64, 311.86,
141.17815	66.87	⁹⁰ Nb(14.60h) - 1129.224,	276.0	
2318.968, 2186.242				
141.2	0.0016	²¹⁰ At(8.1 h) - 82.802, 106, 167		
141.314722	6.65	⁷⁵ Br(96.7m) - 286.572,	147.484	0.00313 ²²⁷ Ac(21.773y) - 100, 69.21,

160.26			323.871, 144.232		
147.632	37.710	²⁰⁰ Pb(21.5h) - 257.17, 235.63,	154.233	0.1257	²³⁰ U(20.8d) - 72.20, 230.37,
268.38			158.18		
147.812	43	¹⁹⁶ Au(9.6h) - 188.27, 168.37,	154.356	0.00103	²⁵⁴ Fm(3.240h) - 99.163, 42.723
285.49			154.572	47	¹⁴⁶ Gd(48.27d) - 115.51, 114.71,
148.19327	28.35	¹⁰³ Ag(65.7m) - 118.72, 266.86,	576.0		
1273.83			155.04	~0.0019	²⁵² Cf(2.645y) - 43.38, 100.4
148.56710	.000185520	²⁴¹ Pu(14.35y) - 103.680,	155.03212	15.15	¹⁸⁸ Re(17.005 h) - 632.99,
77.10, 159.955			477.99, 931.34		
148.6124	2.629	¹²² Xe(20.1h) - 350.065,	155.03212	29.724	¹⁸⁸ Ir(41.5 h) - 2214.62, 632.99,
416.633, 90.596			477.99		
148.71	0.011	¹⁹⁰ Ir(3.25 h) - 616.08, 502.53,	155.1612	0.097	¹⁹² Ir(241y)
361.136			155.374	10.55	¹³² Ce(3.51h) - 182.11, 216.83,
148.92	49	¹²³ Xe(2.08h) - 178.1, 330.2,	190.04		
1093.4			156.023	2.1136	¹¹⁷ Sn(13.60d) - 158.562, 314.3
149.7353	48.23	¹⁴⁹ Gd(9.28d) - 298.634,	156.0882	7.010	¹⁸² Hf(910 ⁶ y)- 270.4031,
346.651, 748.601			114.3152, 172.5708		
150.02	0.073	²²¹ Fr(4.9 m) - 218.19, 410.7,	156.825	0.745	²²⁴ Ac(2.78h) - 140.7, 144.44,
99.5			261.3		
150.042	0.803	²²⁵ Ac(10.0 d) - 99.91, 99.63,	157.23	7	¹⁹² Hg(4.85h) - 274.8, 306.5,
188.00			186.4		
150.0593	10.85	²³² Pa(1.31d) - 969.315,	157.414	0.2414	¹⁰¹ Rh(4.34d) - 306.857, 545.117,
894.351, 453.655			127.226		
150.3923	20.311	¹⁷⁷ Yb(1.911 h) - 1080.21,	157.425	0.00142	²⁴² Cm(162.8d) - 44.08, 101.90,
1241.2, 121.6211			561.11		
150.82413	0.0028	¹¹¹ In(2.8047d) - 245.395,	158.183	17.55	²²⁶ Ac(29.37 h) - 253.73, 186.05,
171.28			67.67		
151.1596	75.04	⁸⁵ Kr(4.480h) - 304.87	158.183	0.0705	²³⁰ U(20.8d) - 72.20, 154.23,
151.1596	2.2 10 ⁻⁶	¹³ ⁸⁵ Kr(10.756y) - 514.0067,	230.37		
362.81, 129.820			158.2604	0.29010	¹³⁵ Xe(9.14h) - 249.770, 608.151,
151.1596	0.00129	⁸⁵ Sr(64.84d) - 514.0067, 868.5,	408.009		
362.81			158.352	4.0	²³⁶ Np(1.54 10 ⁵ y)- 160.308,
151.1596	12.93	⁸⁵ Sr(67.63m) - 129.820,	104.234, 45.242		
731.812, 450.85			158.379479	40.03	¹⁹⁹ Au(3.139d) - 208.20597,
152.227	7.35	¹⁹⁷ Tl(2.84h) - 425.84, 1411.34,	49.82680		
577.97			158.379479	4.9625	¹⁹⁹ Tl(7.42h) - 455.46,
152.31517	0.00833	¹⁸¹ W(121.2 d) - 6.238, 136.266	208.20597, 247.26		
152.632	0.000985	²⁴⁴ Cm(18.10y) - 42.824, 98.860,	158.383	98.810	⁵⁶ Ni(6.077d) - 811.85, 749.95,
554.60			269.50		
152.7202	0.00093710	²³⁸ Pu(87.7y) - 43.498, 99.853,	158.56212	16	¹¹⁷ In(116.2m) - 315.302
766.38			158.56212	86	¹¹⁷ Sn(13.60d) - 156.02, 314.3
152.82	2.2315	²⁵¹ Bk(55.6m) - 177.7, 130.1,	158.56212	86	¹¹⁷ Sb(2.80h) - 861.35, 1004.51,
163.8			1021.0		
152.82	0.9110	²⁵¹ Es(33h) - 177.7, 163.8, 34.0			
152.92	253	²⁴⁶ Am(39m) - 679.0, 205.0, 756	Energy	Intensity	Parent- Associated -rays
153.41	0.25920	²²⁰ Fr(27.4s) - 413.0, 234.5,	158.808	0.0004515	²⁴² Pu(3.733 10 ⁵ y)-
178.4			44.915, 103.50		
153.593	663	¹¹⁹ Te(4.70d) - 1212.73, 270.53,	158.975	84	¹²³ Te(119.7d) - 88.46, 247.5
1136.75			158.975	83	¹²³ I(13.27h) - 528.96, 440.02,
153.601	6.203	¹⁵¹ Gd(124 d) - 243.282, 174.70,	538.54		
21.542			159.37712	68.34	⁴⁷ Sc(3.3492d)
153.8632	163	²⁴⁴ Am(10.1h) - 743.971,	159.95520	6.54 10 ⁻⁶	¹⁵ ²⁴¹ Pu(14.35y) - 148.567,
897.848, 99.383			103.680, 77.10		
154.211	5.6214	²²³ Ra(11.435 d) - 269.459,			

160.265	0.00586	$^{227}\text{Ac}(21.773\text{y}) - 100, 69.21, 147.48$	166.4104	0.103615	$^{228}\text{Th}(1.9131\text{y}) - 84.373, 215.983, 131.613$
160.3083	32	$^{236}\text{Np}(1.54 \cdot 10^5 \text{ y}) - 104.234, 45.242, 104.1$	1672	0.0028	$^{210}\text{At}(8.1 \text{ h}) - 82.802, 106, 141.2$
160.3083	0.0004023	$^{240}\text{Pu}(6563\text{y}) - 45.242, 104.234, 212.46$	167.437	10	$^{201}\text{Tl}(72.912\text{h}) - 135.34, 32.19, 30.60$
160.329	0.9711	$^{137}\text{Pr}(1.28\text{h}) - 836.7, 433.9, 514.0$	167.752	8.35	$^{151}\text{Pm}(28.40\text{h}) - 340.08, 275.21, 717.72$
160.335	0.001919	$^{123}\text{Sn}(129.2\text{d}) - 1088.64, 1030.23, 1021.00$	167.84412	8.818	$^{183}\text{Os}(13.0 \text{ h}) - 381.768,$
160.41	4.95	$^{173}\text{Ta}(3.14\text{h}) - 172.2, 69.70, 90.3$	114.463,	851.474	
160.6138	0.0665	$^{133}\text{Xe}(5.243\text{d}) - 80.9971, 79.6139, 302.853$	167.902	0.07	$^{211}\text{Rn}(14.6 \text{ h}) - 68.573, 236.48$
160.71	0.37920	$^{220}\text{Fr}(27.4\text{s}) - 413.0, 234.5, 178.4$	168.372	7.64	$^{196}\text{Au}(9.6\text{h}) - 147.81, 188.27, 285.49$
161.2699	6.4912	$^{184}\text{Re}(169 \text{ d}) - 252.848, 216.548, 920.932$	168.6882	99.219	$^{52}\text{Fe}(8.275 \text{ h}) - 377.748,$
161.34675	8.93	$^{183}\text{Ta}(5.1 \text{ d}) - 246.0591, 353.9912, 107.9322$	1727.57,	1039.928	
162.30610	0.23016	$^{134}\text{Ce}(3.16\text{d}) - 130.414, 300.884, 31.89$	169.21	0.1158	$^{240}\text{U}(14.1\text{h}) - 44.10, 189.7, 66.5$
162.32195	23.34	$^{183}\text{Re}(70.0 \text{ d}) - 46.4839, 291.7238, 2$	169.264	0.443	$^{137}\text{Ce}(34.4\text{h}) - 824.82, 762.3, 835.38$
162.6601	6.227	$^{140}\text{Ba}(12.752\text{d}) - 537.261, 29.9640, 304.849$	170.451116	6.33	$^{153}\text{Tb}(2.34\text{d}) - 212.0040,$
163.244	0.024	$^{242}\text{Am}(141\text{y}) - 49.367, 86.68, 109.69$	109.7601,	102.2564	
163.3582	5.084	$^{235}\text{U}(7.038 \cdot 10^8 \text{ y}) - 185.712, 143.764, 205.309$	170.715	0.069721	$^{183}\text{Os}(9.9 \text{ h}) - 1101.94, 1107.92, 1034.85$
163.82	0.357	$^{251}\text{Bk}(55.6\text{m}) - 177.7, 130.1, 152.8$	171.283	90calc	$^{111}\text{In}(2.8047\text{d}) - 245.395,$
163.82	~0.10	$^{251}\text{Es}(33\text{h}) - 177.7, 152.8, 34.0$	150.824		
163.9308	1.916	$^{131}\text{Xe}(11.84\text{d})$	171.39313	2.9011	$^{173}\text{Lu}(1.37\text{y}) - 272.105, 78.63, 100.724$
164.5222	†10010	$^{229}\text{Ac}(62.7\text{m}) - 569.1, 261.92, 146.345$	171.85768	4.8112	$^{177}\text{Lu}(160.4\text{d}) - 413.6636,$
164.612	1.863	$^{237}\text{U}(6.75\text{d}) - 59.5412, 208.00, 26.3448$	319.0205,	121.6211	
164.7110	26	$^{170}\text{Hf}(16.01\text{h}) - 620.7, 120.19, 572.9$	172.13210	25.58	$^{127}\text{Xe}(36.4\text{d}) - 202.860, 374.991, 145.252$
164.82	0.008418	$^{245}\text{Bk}(4.94\text{d}) - 205.879, 471.805, 430.634$	172.188	34	$^{111}\text{Pd}(5.5\text{h})$
164.977	0.26	$^{197}\text{Hg}(23.8\text{h}) - 279.01, 130.2, 201.6$	172.21	18	$^{173}\text{Ta}(3.14\text{h}) - 69.70, 90.3, 160.4$
164.982	26.43	$^{149}\text{Tb}(4.118\text{h}) - 352.24, 388.57, 652.12$	172.570822	0.204	$^{182}\text{Hf}(9106 \text{ y}) - 270.4031,$
165.0498	2.9720	$^{241}\text{Cm}(32.8\text{d}) - 471.805, 430.634, 205.879$	156.088,	114.3152	
165.845224	12.720	$^{156}\text{Sm}(9.4 \text{ h}) - 87.4897, 203.818, 37.9681$	172.62	16	$^{256}\text{Es}(7.6\text{h}) - 861.8, 231.1,$
165.8646	23.724	$^{139}\text{Ba}(83.06\text{m}) - 1420.5, 1254.7, 1310.6$	1092.9		
165.8646	80calc	$^{139}\text{Ce}(137.640\text{d})$	173.41	18	$^{198}\text{Pb}(2.40\text{h}) - 290.3, 365.4,$
166.03	0.00066	$^{236}\text{Pu}(2.858\text{y}) - 47.574, 108.96, 643.5$	173.525	2.7	$^{193}\text{Au}(17.65\text{h}) - 186.17, 255.57, 268.22$
			173.71	8.86	$^{132}\text{I}(1.387\text{h}) - 98.0, 22$
			174.701	2.966	$^{151}\text{Gd}(124 \text{ d}) - 153.60, 243.282,$
			21.542		
			174.944	10	$^{245}\text{Cm}(8500\text{y}) - 132.99, 41.95,$
			189.82		
			174.9545	82.0025	$^{71}\text{As}(65.28\text{h}) - 1095.490,$
			499.876,	326.785	
			175.3615	7.489	$^{48}\text{Sc}(43.67\text{h}) - 1312.096,$
			983.517,	1037.599	
			175.43	10.112	$^{80}\text{Sr}(106.3 \text{ m}) - 589.0, 553.4,$
			378.8		

176.61	17.715	²⁵¹ Cf(898y) - 227.0, 285.0, 61.5	1090.0		
176.6452	0.47011	¹⁷⁴ Lu(142d) - 272.918, 992.128, 76.471	184.57710	48.73	⁶⁷ Cu(61.83h) - 93.311, 91.266, 300.219
177.214026	22.1618	¹⁶⁹ Yb(32.026d) - 63.12077, 197.95788, 109.77987	184.57710	21.23	⁶⁷ Ga(3.2612d) - 93.311, 300.219, 393.529
177.3010	0.0566	²⁵⁴ Es(39.3h) - 211.80, 71.30, 104.0	184.81025	0.004211	¹⁵⁴ Eu(8.593y) - 81.99
177.59517	48.620	²⁰⁸ At(1.63h) - 686.527, 660.040, 845.044	185.0053	28.617	¹⁶² Ho(67.0 m) - 1220.0, 282.864, 937.2
177.72	6	²⁵¹ Bk(55.6m) - 130.1, 152.8, 163.8	185.7121	57.25	²³⁵ U(7.038 10 ⁸ y)- 143.764, 163.358, 205.309
177.72	2.4	²⁵¹ Es(33h) - 152.8, 163.8, 34.0	185.853	1.894	¹⁸⁹ Re(24.3 h) - 216.663, 219.395, 245.09
178.12	14.97	¹²³ Xe(2.08h) - 148.9, 330.2, 1093.4	186.051	4.83	²²⁶ Ac(29.37 h) - 253.73, 67.67
178.42	0.0253	²²⁰ Fr(27.4s) - 413.0, 234.5, 44.60	186.051	0.00884	²³⁰ Th(7.538 10 ⁴ y)- 67.67, 143.87, 253.73
179.41	8.77	²⁵⁷ Fm(100.5d) - 241.0, 61.6, 104.4	186.173	9.45	¹⁹³ Au(17.65h) - 255.57, 268.22, 173.52
179.63615	0.53212	¹⁰¹ Rh(4.34d) - 306.857, 545.117, 127.226	186.21113	3.596	²²⁶ Ra(1600 y) - 262.27, 600.66, 414.60
179.942	9.75	²⁴⁶ Pu(10.84d) - 43.81, 223.75, 27.58	186.43	3.36	¹⁹² Hg(4.85h) - 274.8, 157.2, 306.5
180.1031	7.4515	¹⁵⁵ Tb(5.32d) - 86.545, 105.305, 262.322	186.7182	27.812	¹⁹⁰ Re(3.2h) - 119.12, 0
180.114	1.909	¹⁹⁵ Hg(9.9h) - 779.80, 61.46, 585.13	186.7182	52.421	¹⁹⁰ Ir(11.78d) - 605.24, 518.55, 557.972
180.23011	33.516	¹⁸² Os(22.10 h) - 510.056, 263.285, 55.506	186.7182	66.36	¹⁹⁰ Ir(3.25h) - 616.08, 502.53, 361.136
180.315	503	¹⁹⁸ Au(2.27d) - 214.841, 97.1949, 204.10	187.5910	19.410	¹⁸⁸ Pt(10.2 d) - 195.05, 381.43, 423.34
181.02	13.813	¹⁸⁴ Hf(4.12 h) - 139.1, 344.9, 41.4	188.005	0.543	²²⁵ Ac(10.0 d) - 99.91, 150.04, 99.63
181.0638	5.997	⁹⁹ Mo(65.94h) - 140.511, 739.50, 777.921	191.969	9.3717	⁷² Zn(46.5 h) - 145.04, 16.4, 103.14
181.35	0.4111	²⁵⁷ Md(5.52h) - 371.4, 325.1, 388.5	192.3495	3.0810	⁵⁹ Fe(44.503d) - 1099.251, 1291.596, 142.652
181.5284	20.64	¹⁷² Lu(6.70d) - 1093.657, 900.724, 810.064	193.5094	4.4	²²⁹ Th(7340y) - 210.853, 86.40, 86.25
181.9304	9.93	¹⁵⁸ Tb(180y) - 944.09, 962.06, 79.5104	195.01	22.610	²⁰⁹ At(5.41h) - 545.0, 781.9, 790.2
182.113	77	¹³² Ce(3.51h) - 155.37, 216.83, 190.04	195.0510	18.610	¹⁸⁸ Pt(10.2 d) - 187.59, 381.43, 423.34
182.2020	1.8418	¹⁵⁷ Dy(8.14 h) - 326.16, 83.01, 60.82	196.30110	25.9817	⁸⁸ Kr(2.84h) - 2392.11, 2195.842, 834.830
182.252	0.9calc	¹³¹ Te(30h)	196.563	4.5914	¹²⁹ Xe(8.88d) - 39.578
182.325	†100	¹²⁹ Ba(2.16h) - 1459.1, 202.38, 419.83	197.29912	3.4 10 ⁻⁷	⁶ ¹⁴⁷ Pm(2.6234y) - 121.220, 76.073
184.2851	17.4516	¹⁶⁸ Tm(93.1d) - 198.241, 815.990, 447.515	197.29912	27	¹⁴⁷ Eu(24.1d) - 121.220, 677.516, 1077.043
184.4106	72.67	¹⁶⁶ Ho(1200y) - 810.276, 711.683, 280.459	197.33	87.011	¹²⁰ Sb(5.76d) - 1171.3, 1023.1, 89.9
184.4106	16.13	¹⁶⁶ Tm(7.70h) - 778.817, 2052.36, 1273.540	197.957886	35.83	¹⁶⁹ Yb(32.026d) - 63.12077, 177.21402, 109.77987
184.5644	3.376	¹⁵⁵ Dy(9.9 h) - 226.918, 1089.8,	197.996	73	¹⁰¹ Rh(3.3y) - 127.226, 325.23, 295.01
			198.2411	52.3916	¹⁶⁸ Tm(93.1d) - 815.990,

447.515, 184.285

Energy	Intensity	Parent- Associated -rays			
198.606012	1.193	⁷⁵ Ge(82.78m) - 264.6576, 468.6, 419.1	205.3092	5.015	²³⁵ U(7.038 10 ⁸ y)- 185.712, 143.764, 163.358
199.213210	40.922	¹⁵⁶ Tb(5.35 d) - 534.318, 1222.36, 88.9667	205.795496	3.30017	¹⁹² Ir(73.831d) - 484.5780, 374.4852, 201.3112
199.505	0.553	¹³⁸ Nd(5.04h) - 325.76, 341.65, 215.31	205.87913	0.0406	²⁴⁵ Bk(4.94d) - 471.805, 164.8, 430.634
200.384	0.798	¹⁹⁵ Hg(41.6h) - 261.75, 560.27, 387.87	205.935	>0.32	²²⁴ Ac(2.78h) - 156.82, 140.7, 144.44
201.31127	0.4726	¹⁹² Ir(73.831d) - 205.79549, 484.5780,	206.175	505	²²² Fr(14.2 m) - 111.12, 242.11, 131.00
201.526	6.418	¹⁸⁷ Pt(2.35 h) - 106.46, 110.04, 709.17	206.175	0.1898	²²⁶ Th(30.57 m) - 111.12, 242.11, 131.00
201.63	0.0345	¹⁹⁷ Pt(95.41m) - 346.5, 53.10	206.504	58	¹⁷⁴ Ta(1.05h) - 91.00, 1205.92, 1228.33
201.63	0.08913	¹⁹⁷ Hg(23.8h) - 279.01, 130.2, 77.351	207.43	14.08	¹⁷⁵ Ta(10.5h) - 348.5, 266.9, 81.5
201.833	865	¹⁷⁶ Lu(3.78 10 ¹⁰ y)- 306.78, 88.34, 400.99	207.8015	4.93	¹⁶⁷ Ho(3.1h) - 346.547, 321.336, 237.873
201.833	>0.0007	¹⁷⁶ Lu(3.635h) - 88.34, 1159.28, 1061.61	207.8015	416	¹⁶⁷ Tm(9.25d) - 57.0723, 531.54, 264.9
201.833	6	¹⁷⁶ Ta(8.09h) - 1159.28, 88.34, 1224.93	207.8495	0.008016	¹⁸⁸ W(69.4 d) - 290.669, 227.083, 63.582
202.215	†4.75	²²⁴ Rn(107m) - 260.581, 265.806, 328.331	208.001	21.23	²³⁷ U(6.75d) - 59.5412, 26.3448, 164.61
202.387	†33.76	¹²⁹ Ba(2.16h) - 182.32, 1459.1, 419.83	208.083	1.149	¹⁶⁴ Tm(2.0m) - 91.40, 1154.66, 768.91
202.513	97.34	⁹⁰ Y(3.19 h) - 479.17, 681.8	208.2059711	8.73212	¹⁹⁹ Au(3.139d) - 158.37947, 49.82680
202.81	†30.810	²³⁰ Ra(93m) - 72.0, 63.0, 469.7	208.2059711	12.36	¹⁹⁹ Tl(7.42h) - 455.46, 247.26, 158.37947
202.86010	0.058021	¹²⁷ Te(9.35h) - 417.95, 360.32, 215.17	208.36645	11.06	¹⁷⁷ Lu(6.734 d) - 112.9498, 321.3162, 249.6741
202.86010	68	¹²⁷ Xe(36.4d) - 172.132, 374.991, 145.252	208.36645	57.711	¹⁷⁷ Lu(160.4d) - 228.4838, 378.5029, 418.5391
203.1310	6.45	⁹⁰ Mo(5.56h) - 257.34, 122.370, 323.20	208.36645	0.948	¹⁷⁷ Ta(56.56h) - 112.9498, 1057.8, 745.9
203.52	74	¹⁰⁹ In(4.2h) - 623.7, 1148.9, 426.25	208.80576	2.955	¹⁸³ Re(70.0 d) - 162.3219, 46.4839, 291.7238
203.8183	20.620	¹⁵⁶ Sm(9.4 h) - 87.4897, 165.8452, 37.9681	209.7532	3.425	²³⁹ Np(2.3565d) - 106.125, 277.599, 228.183
204.106	40.823	¹⁹⁸ Au(2.27d) - 214.841, 97.1949, 180.31	209.7532	3.5020	²³⁹ Am(11.9h) - 49.10, 277.599, 228.183
204.1172	0.0289	⁹⁵ Nb(34.975d) - 765.794, 561.67	209.7532	3.2910	²⁴³ Cm(29.1y) - 277.599, 228.183, 285.460
204.1172	2.337	⁹⁵ Nb(86.6h) - 582.082, 786.198, 820.624	210.41	2.8	¹⁸⁶ Pt(2.2 h) - 689.4, 611.5, 635.3
204.1172	63.2513	⁹⁵ Tc(61d) - 582.082, 835.149, 786.198	210.8533	2.83	²²⁹ Th(7340y) - 193.509, 86.40, 86.2
205.010	364	²⁴⁶ Am(39m) - 679.0, 152.9, 756			

Annexe 4: Exemple de fiche standard : le GSD12

138	GBW07312		GSD 12								
	水系沉积物		stream sediment								
1	2	3	4	5	6						
SiO ₂	%	25	4	77.29	0.19	Pb	µg/g	41	6	285	16
Ti	µg/g	45	4	1510	70	Rb	µg/g	30	4	270	15
Al ₂ O ₃	%	31	4	9.30	0.17	Sb	µg/g	34	7	24	4
TFe ₂ O ₃	%	43	6	4.88	0.13	Sc	µg/g	24	4	5.1	0.6
FeO	%	16	2	1.19	0.09	Se	µg/g	15	5	0.25	0.04
Mn	µg/g	60	6	1400	73	Sn	µg/g	25	6	54	7
MgO	%	38	5	0.47	0.12	Sr	µg/g	41	6	24	4
CaO	%	39	5	1.16	0.07	Ta	µg/g	11	3	3.2	0.3
Na ₂ O	%	41	5	0.44	0.04	Te	µg/g	10	4	0.29	0.07
K ₂ O	%	37	5	2.91	0.06	Th	µg/g	25	7	21.4	1.7
P	µg/g	43	3	235	34	Tl	µg/g	17	5	1.76	0.37
S	µg/g	12	2	940	60	U	µg/g	20	7	7.8	1.0
CO ₂	%	—	2	0.18	—	V	µg/g	56	6	47	6
						W	µg/g	32	5	37	3
						Y	µg/g	51	5	29	4
						Zn	µg/g	52	5	498	27
H ₂ O ⁺	%	15	2	2.15	0.12	Zr	µg/g	36	7	234	25
C _{org}	%	—	2	0.40	—	La	µg/g	32	4	32.7	2.2
LOI	%	14	1	2.62	0.17	Ce	µg/g	24	5	61	5
Ag	µg/g	24	4	1.15	0.16	Pr	µg/g	13	3	6.9	1.2
Au	µg/g	—	2	5.6	—	Nd	µg/g	18	5	26	4
As	µg/g	35	7	115	9	Sm	µg/g	21	5	5.0	0.5
B	µg/g	23	3	24	3	Eu	µg/g	19	4	0.61	0.04
Ba	µg/g	45	7	206	23	Gd	µg/g	14	3	4.4	0.4
Be	µg/g	40	5	8.2	1.1	Tb	µg/g	21	4	0.82	0.08
Bi	µg/g	32	7	10.9	1.3	Dy	µg/g	16	5	4.8	0.2
Br	µg/g	—	3	1.7	—	Ho	µg/g	15	4	0.94	0.09
Cd	µg/g	28	5	4.0	0.4	Er	µg/g	14	5	3.1	0.3
Cl	µg/g	—	4	163	—	Tm	µg/g	15	4	0.53	0.07
Co	µg/g	67	8	8.8	1.1	Yb	µg/g	33	6	3.7	0.5
Cr	µg/g	59	6	35	4	Lu	µg/g	18	3	0.58	0.08
Cs	µg/g	16	3	7.9	0.5						
Cu	µg/g	52	5	1230	51						
F	µg/g	27	2	1250	61						
Ga	µg/g	20	6	14.1	0.7						
Ge	µg/g	11	3	1.87	0.13						
Hf	µg/g	12	4	8.3	1.1						
Hg	µg/g	18	3	56	8						
I	µg/g	11	5	1.8	0.3						
In	µg/g	13	4	0.96	0.17						
Li	µg/g	28	3	39.0	1.5						
Mo	µg/g	34	6	8.4	0.9						
Nb	µg/g	39	5	15.4	1.6						
Ni	µg/g	65	8	12.8	1.9						

خلاصة:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم جودة الهواء في منطقة درارية في مجموع الجزيئات الهوائية الدقيقة (TSP) وما يرتبط بها من عناصر الأثر المعدي (ETM) في فترة (02) شهرين. أخذ عينات للجسيمات تم عن طريق مص الهواء بتدفق منخفض، بواسطة مرشحات مفتوحة وبدون فصل حجم معين. تبين الدراسة أن التلوث في هذه المنطقة الشبه الحضرية ليست مصدر قلق لأن القيم المسجلة كانت أقل من المعيار الجزائري. وقد اختيرت تقنية التحليل بالتنشيط النيوتروني للتقدير النوعي و الكمي للـ ETM المرتبطة بالجزيئات الهوائية الدقيقة، و تم الكشف عن خمسة وثلاثون (35) عنصر و معايرة (24) أربعة و عشرون. استنتجنا أن تلوث الهواء بـ ETM كان منخفضا نسبيا.

الكلمات المفتاحية : تلوث الهواء، TSP، ETM، تقنية التحليل بالتنشيط النيوتروني.

Résumé :

La présente étude porte sur l'évaluation de la qualité de l'air de la région de Draria en particules totales en suspension (TSP) et en éléments traces métalliques associés (ETM) pendant une période d'environ deux (02) mois. Le prélèvement des particules est effectué par un échantillonneur à faible débit, la collecte d'aérosols est réalisée sur des filtres ouverts et sans coupure granulométrique précise. L'étude montre qu'en ce site semi-urbain la pollution n'est pas inquiétante vu que les valeurs enregistrées ont été inférieure à la valeur cible Algérienne. La technique d'Analyse par Activation Neutronique a été optée pour la quantification des ETM associés aux TSP, cependant nous avons détecté trente cinq (35) ETM dont vingt quart (24) ont été dosés. Nous avons constaté que la pollution atmosphérique en ETM est relativement faible.

Mot clés : Pollution atmosphérique, TSP, ETM, Analyse par Activation Neutronique.

Abstract:

The present study relates to the evaluation of the quality of the air of the area of Draria in total particles in suspension (TSP) and element metal traces associated (ETM) for one period with approximately two (02) months. The taking away of the particles is carried out by a sampler with low flow; the collection of aerosols is carried out on open filters and without precise granulometric cut. The study shows that in this semi-urban site pollution is not worrying because the recorded values were lower than the Algerian target value. The technique of Neutron Activation Analysis was chosen to quantificate the ETM associated with the TSP; however we detected thirty five (35) ETM of which forty forts (24) were proportioned. We noted that the air pollution in ETM is relatively weak.

Keywords : Air pollution, TSP, ETM, Neutron Activation Analysis.
