

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique d'Alger
Département du Génie de l'Environnement



Laboratoire des Biotechnologies Environnementales
& de Génie des Procédés (BIOGEP)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par :
M^{lle} LAKEHAL Camélia
Mr FERKHA Mohamed Karim

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN
GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME

Utilisation des lichens pour le dosage des
éléments traces métalliques par la méthode
d'analyse par activation neutronique

Soutenu le : 30/06/2012 devant le jury suivant :

Président :	Mr.	N. MAMERI	Professeur à l'ENP
Promoteurs:	Mr M ^{me} .	H.LOUNICI Z.ZERGOUG	Professeur à L'université de Bouira Attachée de recherche au CRND
Examineur:	Mr.	H. GRIB	Maître de conférences A à l'ENP
Invité:	Mr. M ^{me}	M.MOUZAI Z.KHOUDJA	Attaché de recherche au CRND Attachée de recherche au CRND

PROMOTION 2011/2012

ENP.10, Avenue Hassen-Badi, El Harrach, Alger

Dédicaces

« S'il est une chose qu'on puisse désirer toujours et obtenir quelquefois, c'est la tendresse humaine »

Albert Camus

Je dédie ce travail à

*A mon adorable famille qui m'a soutenue tout au long de
cette épreuve,*

*A ma bien aimée Razika qui était présente dans mes
moments de doutes et qui a su m'épauler,*

A mes chers amis

*Et enfin à mon binôme et ami Karim pour sa bonté et son
sens de l'écoute.*

Camélia.

Dédicace

«C'est le rôle essentiel du professeur d'éveiller la joie de travailler et de connaître»

Albert Einstein.

Mes premiers professeurs sont mes parents à qui je dédie ce travail pour m'avoir épaulé et encouragé durant tout mon cursus et particulièrement pour cette dernière année,

A mes frères, Moncef et Seif-Eddine qui ont su me détendre avec leurs blagues à deux balles,

A ma sœur, Fatma, qui ne dit jamais non pour me rendre service,

A mes amis Hichem, Rami, Riad, Amir, D.Mehdi, M.mehdi, Fares, Amine, Nour...

A mon binôme Camélia pour sa gentillesse et son sérieux.

Karim.

Remerciements

En préambule de ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apportés leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

*Nous tenons à remercier sincèrement Madame **Z.ZERGOUG** qui, en tant que Promotrice au CRND, s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour ;*

*Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **H. Lounici**, notre promoteur à l'ENP, pour l'orientation, la confiance, ses bonnes explications qui nous ont éclairés le chemin de la recherche ;*

Aussi, nous tenons à remercier vivement :

- Mr **N. Mameri**, pour avoir accepté de présider le Jury ainsi que pour nous avoir encadré durant notre cursus, pour sa gaité et sa remarquable pédagogie ;*
- Monsieur **H. Grib**, de nous avoir consacré de son temps pour juger ce travail et d'être parmi les membres du jury ;*
- Monsieur **M. Mouzaï**, pour avoir accepté de corriger notre travail, pour les conseils qu'il nous a fournis au cours de notre travail de recherche ainsi que pour son déplacement pour être parmi les membres du jury.*

*Notre gratitude à notre ami **C. Mazouzi** qui a toujours été là pour nous aider, nous te remercions infiniment pour ton aide précieuse cher ami.*

Merci

Sommaire

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

CHAPITRE I : La pollution atmosphérique

1. Composition de l'air.....	5
2. La pollution de l'air.....	5
2.1 L'origine de la pollution.....	6
2.2 Les principaux polluants: leurs sources et effets.....	6
2.2.1 Monoxyde de Carbone (CO).....	6
2.2.2 Dioxyde de soufre (SO ₂).....	6
2.2.3 Oxydes d'azote (NO _x).....	6
2.2.4 Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM).....	7
2.2.5 Ozone (O ₃) : Cas de l'ozone troposphérique:.....	7
2.2.6 Chlorofluorocarbones (CFC).....	7
2.2.7 Hydro Chlorofluorocarbone (HCFC).....	7
2.2.8 Ammoniac (NH ₃).....	7
2.2.9 Particules et poussières.....	8
2.2.10 Métaux lourds : plomb, mercure, zinc, cadmium,	8
2.2.11 Composés organiques persistants (POPs).....	8
2.2.12 Odeurs.....	8
2.2.13 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).....	9
2.2.14 Gaz à Effet de Serre (GES).....	9
3. Météorologie et pollution atmosphérique.....	9
3.1 Le vent.....	9
3.2 La température.....	10
3.3 Le soleil.....	10
3.4 Les précipitations.....	10
4. La pollution par les particules.....	10
4.1 Définition.....	10
4.2 Classification.....	10
4.2.1 La taille.....	10
4.2.2 Particules primaires ou secondaires.....	11

4.3 Les sources des particules	11
4.3.1 Sources naturelles	11
4.3.2 Sources anthropiques	11
4.4 Les métaux lourds	11
4.4.1 Définition	12
4.4.2 Les principales sources d'émission.....	15
4.4.3 Les impacts des métaux lourds	15
4.4.4 Les normes de rejets.....	18

CHAPITRE II : La biosurveillance végétale et fongique

Introduction	20
1. La biosurveillance et les limites des méthodes physicochimique	20
2. Concepts et définitions	20
2.1 La biosurveillance sensible	21
2.1.1 La biointégration	21
2.1.2 La bioindication	21
2.1.3 Le biomarquage	21
2.2 La biosurveillance par accumulation	21
3. Les organismes utilisés en biosurveillance	22
3.1 Les lichens	22
3.2 Les mousses.....	22
3.3 Les végétaux supérieurs.....	22
4. Les voies de la biosurveillance.....	23
4.1 La biosurveillance passive (in-situ)	23
4.2 La biosurveillance active (ex-situ)	23
5. Applications des méthodes de biosurveillance.....	23
6. Avantages et intérêt pratique de la biosurveillance.....	24
6.1 Du point de vue technique.....	24
6.2 Du point de vue pratique et économique.....	24
7. Les limites de la biosurveillance	25

CHAPITRE III : Lichens et pollution atmosphérique

Introduction	27
1. Généralités sur les lichens:	27
1.1 La symbiose lichénique:	27
1.2 La morphologie d'un lichen	27
3. Les constituants des lichens	28
3.1 Le thalle	28
3.1.1 Les thalles crustacés	28
3.1.2 Les thalles foliacés	29
3.1.3 Les thalles fruticuleux	29
3.2 Organes particuliers	29
3.2.1 Rhizines et cils	29
3.2.2 Poils et pruine	30
3.2.3 Cyphelle et pseudocyphelles	30
3.2.4 Céphalodies	30
4. La reproduction des lichens	31
4.1 Reproduction végétative	31
4.2 Reproduction asexuée	31
5. Écologie des lichens	31
5.1 Les types de groupements par substrat	31
5.1.1 Les espèces croissantes sur les rochers	31
5.1.2 Les espèces croissantes sur les écorces des arbres et arbustes	32
5.1.3 Les espèces croissantes sur le sol	32
5.2 Les facteurs du milieu	33
6. L'hypersensibilité des lichens	33
7. L'accumulation des polluants dans les lichens	34
7.1 Processus d'accumulation	34
7.2 Les modes de fixation	34
7.2.1 La fixation extracellulaire	35
7.2.2 L'absorption intracellulaire	35

CHAPITRE IV : L'activation neutronique

Introduction	38
1. Les réactions nucléaires	38
1.1 Activation	39
1.2 Isolation	40
1.2.1 Effet photoélectrique.....	40
1.2.2 Effet Compton.....	40
1.2.3 Production de paire	40
1.3 Détermination quantitative et instrumentation	40
2. Sources de neutrons	42
2.1 Les sources isotopiques	42
2.1.1 Les principales sources isotopiques	42
2.1.2 Les accélérateurs	42
3. Théorie de l'analyse par activation	42
3.1 Les principes généraux	42
3.2 La radioactivité	44
3.2.1 Équation de l'activité	44
4. Avantages de la NAA.....	47
5. Limites de la NAA	47

CHAPITRE V : Les zones d'étude

Présentation des zones d'études	50
1. Le lac de Reghaia.....	50
1.1 Présentation de la zone.....	50
1.2 Le climat	50
1.3 Facteur de dégradation du site	51
2. Zone de sidi R'cine.....	51
2.1 Présentation de la zone.....	51
2.2 Climat.....	51
2.3 Facteur de dégradation de la zone.....	51
3. Zone de Draria	52
3.1 Présentation de la zone.....	52
3.2 Facteur de dégradation de la zone.....	52

CHAPITRE VI : Echantillonnage et analyses

1. Échantillonnage.....	54
1.1 Matériels et produits.....	54
1.2 Mode de prélèvement.....	54
1.3 Préparation des échantillons.....	54
1.4 Conditionnement	55
1.5 Le réacteur nucléaire NUR de Draria	55
1.6 Étalonnage de la chaîne de mesure	57
2. Analyse.....	58

CHAPITRE VII : Résultats et discussions

1. Calcul des concentrations.....	60
2.1 Résultats moyenne période.....	61
2.2 Graphes et discussions	63
2.2.1 Éléments de moyenne durée de demi-vie	63
2.3 Résultats longue période.....	67
2.4 Graphes et discussions	69
2.4.1 Éléments de longue durée de demi-vie	69
CONCLUSION GÉNÉRALE	74
LES ANNEXES	77
Liste bibliographique.....	99

Liste des tableaux

Tableau 1: Les principales sources d'émissions de polluants	15
Tableau 2: Types de pollution et morbidité.	16
Tableau 3: Les organes affectés par les métaux lourds.	17
Tableau 4: Les normes de rejets de quelques polluants dans l'air.	18
Tableau 5: Ordre de grandeur de la concentration en éléments-traces dans les lichens en relation avec les activités humaines	36
Tableau 6: Tableau représentant différents types d'analyses par activation.	43
Tableau 7: Concentrations des éléments de moyenne durée de demi-vie relatives aux trois sites pour les différents échantillons.	61
Tableau 8: Concentrations des éléments de moyenne durée de demi-vie relatives aux trois sites.....	62
Tableau 9: Tableau représentant les concentrations des éléments de longue durée de vie.	67
Tableau 10: Concentrations des éléments de longue durée de demi-vie relatives aux trois sites.....	69
Tableau 11: Tableau représentant les NETs des échantillons 01 à 15 de Draria.	78
Tableau 12: Tableau représentant les NETs des échantillons 16 à 30 de Draria et de 30 à 33 de Sidi R'cine.	79
Tableau 13 : Tableau représentant les NETs des échantillons 01 à 15 de Reghaia.....	79
Tableau 14: Tableau représentant les NETs des échantillons 16 à 30 de Reghaia.	80
Tableau 15: Tableau représentant les NETS des éléments de longue durée de vie des échantillons 01 à 15 Draria.	81
Tableau 16: Tableau représentant les NETs des éléments de longue durée de vie des échantillons 16 à 33 Draria et Sidi R'cine.	82
Tableau 17: Tableau représentant les NETs des éléments de longue durée de vie des échantillons 01 à 15 Reghaia.	84
Tableau 19: Tableau représentant le modèle du calcul d'erreur.	85
Tableau 20: Tableau représentant les taux d'humidité des échantillons et les standards utilisés.....	86

Liste des figures

Figure 1: Le cheminement des métaux lourds dans l'environnement.....	17
Figure 2: Les indicateurs de réaction au niveau biologique.....	21
Figure 3: Coupe transversale du thalle.....	28
Figure 4 : Vue microscopique du thalle.....	28
Figure 5: Lichens à thalle foliacé.	29
Figure 6: Lichens à thalle fruticuleux.....	29
Figure 7: Lichens à thalle crustacé.	29
Figure 8:Cils marginaux d'Anaptychia ciliaris	30
Figure 9: Rhizines de deux espèces de Physconia.....	30
Figure 10: Lichens saxicoles.....	32
Figure 11: Lichens épiphytes.	32
Figure 12: Lichens lignicoles.	32
Figure 13: Lichens terricoles.....	32
Figure 14: Principe de la technique de l'Activation neutronique.....	39
Figure 15: Schéma d'une installation de mesure de rayons γ utilisée en analyse par activation.....	40
Figure 16: Spectre d'un échantillon de lichen irradié 17 heures aux neutrons Mesure de 5 heures faite 5 jours après la fin de l'irradiation.	41
Figure 17: Carte de la baie d'Alger indiquant les sites de prélèvement des lichens.....	50
Figure 18:Position des sites d'irradiation utilisés pour l'analyse par activation neutronique selon la configuration en H des combustibles.....	56
Figure 19: Schéma de conditionnement des échantillons dans la capsule destinée à l'irradiation.	58
Figure 20 : Concentrations du Lutécium	63
Figure 21: Concentrations du Néodyme.	63
Figure 22: Concentrations du Samarium.....	64
Figure 23: Concentrations Lanthane.	64
Figure 24: Concentrations de l'Ytterbium.....	64
Figure 25 : Concentrations de l'Arsenic.....	65
Figure 26 : Concentrations de l'Antimoine.....	65
Figure 27 : Concentrations du Brome.	65
Figure 28 : Concentrations du Sodium.	66
Figure 29: Concentrations du Scandium.	69
Figure 30: Concentrations du Terbium.....	69
Figure 31: Concentrations de l'Europium.....	69
Figure 32: Concentrations du Cerium.	69
Figure 33: Concentrations de l'Etain.	70
Figure 34: Concentrations du Barium.....	70
Figure 35: Concentrations du Selenium.	70
Figure 36: Concentrations du Mercure.	71
Figure 37: Concentrations du Chrome.	71
Figure 38: Concentrations du Cobalt.....	71
Figure 39: Concentrations du Zinc.....	72
Figure 40: Concentrations du Fer.....	72
Figure 41: Concentrations du Strontium.....	72

Figure 42: Concentrations du Rubidium.....	73
Figure 43: Concentrations du Hafnium.	73
Figure 44: Concentrations du Césium.	73

Abréviations

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

NAA : Neutron Activation Analysis.

FNAA: Fast Neutron Activation Analysis.

PGNAA: Prompt Gamma Neutron Activation Analysis.

NET: Taux de comptage.

d_B^F : Nombre d'atomes formés.

N_0 : Nombre d'atomes cibles.

σ_{AB} : Section efficace (probabilité d'incidence en barns¹).

Φ_{AB} : Flux ou débit de particules incidentes (neutrons.cm⁻².s⁻¹).

dt : Intervalle de temps d'irradiation.

d_B^D : Nombre d'atome de B détruit.

N_B : Nombre d'atome de B présent à l'instant «t».

λ : Constante de désintégration ($\lambda = \ln 2/T$).

T : Temps de décroissance radioactive.

N^* : Le nombre de noyau radioactif.

A : Activité.

N_A : Nombre d'Avogadro ($N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ atomes/mole)

m : Le poids de l'élément recherché (grammes).

I : L'abondance isotopique de l'élément (en %).

M : La masse atomique de l'isotope irradié (grammes).

t_i : Le temps d'irradiation de l'échantillon (seconde).

t_d : Le temps de désactivation (seconde)

ε : L'efficacité de comptage.

M_E : Masse de l'échantillon.

M_R : Masse du standard.

C_{CE} : Concentration du polluant tel que $C_{CE} = m_E/M_E$ en $\mu\text{g}/\text{gramme}$ de lichens.

C_{CR} : Concentration du polluant tel que $C_{CR} = m_R/M_R$ en $\mu\text{g}/\text{gramme}$ du standard.

$N_e(0)$: Nombre total d'atomes radioactifs d'un élément dans l'échantillon.

$N_r(0)$: Nombre total d'atomes radioactifs d'un élément dans le standard.

¹ 1 barns = 10^{-24} cm²

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Depuis les origines du monde, la décomposition des matières végétales et des débris animaux, les incendies de forêts et l'érosion des roches étaient précurseurs de la pollution de l'air. Avec l'avènement de l'ère industrielle et les avancées technologiques, la demande croissante en énergie a imposé l'utilisation du charbon comme principale source d'énergie, par conséquent la pollution de l'air a pris de l'ampleur.

Mise à part cette large vague d'industrialisation, l'intérêt croissant porté aux divers aspects de la pollution, s'explique aussi par les événements dramatiques survenus lors des catastrophes de Donora en 1948 et Londres en 1952 et qui ont causé la mort de milliers de personnes.

La pollution de l'air intéresse aujourd'hui nombreux chercheurs dont les travaux relèvent de divers domaines, cette pollution due aux rejets anthropiques incontrôlés entraîne des perturbations au niveau des êtres vivants et des compartiments abiotiques fondamentaux des milieux. Elle est aussi à l'origine d'effets néfastes qui affectent le plan environnemental, sanitaire, économique et politique.

A cet effet, des initiatives visant à prévoir la détérioration de la qualité de l'air ont été prises. Tout d'abord, les chercheurs ont développés des méthodes d'analyses physicochimiques se basant sur une analyse directe des polluants émis par le biais des capteurs physicochimiques. Cette méthode, bien qu'elle fournisse des données quantifiées, s'est vite avérée onéreuse sur le plan économique, et non indicatrice sur les changements aux niveaux biologiques sur le plan environnemental.

Une alternative impliquant ainsi les éventuelles interactions de certains organismes vivants avec leur environnement est apparue il s'agit de la biosurveillance végétale et fongique.

Cette technique de surveillance aux multiples facettes a été déjà adoptée dans nombreux pays tel le Brésil, l'Italie et les Pays Bas et récemment introduites dans les pays Nord Africains tel la Tunisie et le Maroc. La présente étude en Algérie est première dans son genre, ça sera une initiative pour l'introduction des méthodes de biosurveillance afin d'y remédier aux problèmes de la pollution de l'air.

Le recours à une méthode de biosurveillance végétale a été choisi notamment l'utilisation des lichens épiphytes de par leur excellente capacité d'accumuler les polluants dans leurs tissus.

L'analyse par activation neutronique est la méthode de choix pour l'analyse des éléments traces. Cette dernière étant fiable, dotée d'une grande précision et facile à mettre en œuvre, a été utilisée dans de nombreux domaines comme la géochimie, la criminologie, la médecine et l'environnement...etc.

Dans le cadre de notre étude on s'intéressera particulièrement à la pollution de l'air par les éléments traces métalliques (ETM). Ces éléments, très dangereux de par leurs

stabilités, constituent un risque sanitaire important aussi bien pour l'homme que les divers écosystèmes de son environnement.

CHAPITRE I :

La pollution atmosphérique

1. Composition de l'air

L'homme inhale quotidiennement environ 15 000 litres d'air. Cet air est composé majoritairement d'azote (78%) et d'oxygène (21%) accompagné d'un peu d'argon (0.9%) et de dioxyde de Carbone (0.035%). Le solde est constitué de gaz rares (Hélium, Krypton, Xénon) et d'hydrogène [1]. L'air typique de l'environnement terrestre est souvent humide car il contient de la vapeur d'eau. Il peut aussi contenir du dioxyde de soufre, des oxydes d'azote, de fines substances en suspension sous forme d'aérosol, des poussières et des micro-organismes.

2. La pollution de l'air

La pollution de l'air a été définie en 1949 selon *American Medical Association* comme étant : «*La concentration excessive de produits étrangers aux biens*» [3]. Cette définition a évolué en 1956 vers la définition suivante [53] :

«présence dans l'atmosphère extérieure de substances ou contaminants, apportés par l'homme, en quantités ou à des concentrations et pendant des périodes telles qu'ils gênent une proportion importante des habitants d'un secteur, ou nuisent à la santé publique, à la vie humaine, végétale ou animale, ou aux biens, ou portent atteinte à l'agrément de l'existence ou à la jouissance des biens dans l'état, ou dans les provinces ou les zones de l'état qui sont touchés».

Le Conseil de l'Europe dans sa déclaration de mars 1968 propose cette définition [2]:

“Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne.”

Selon la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, la pollution atmosphérique est définie comme [2]:

“l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives”.

En corrélation à tous ces exposés, la pollution de l'air présentement est définie : « ***C'est la présence de toutes substances étrangères ou modifications dans la concentration des différents composants de l'air naturel pur***».

2.1 L'origine de la pollution

Les émissions de polluants dans l'atmosphère peuvent être divisées en deux grandes catégories : les sources anthropiques liées directement à l'activité humaine (transports, industries, chauffage des bâtiments, incinération des déchets, etc.) et les sources naturelles (émissions volcaniques, plantes produisant le pollen, foudre, etc.) [4].

Les polluants d'origines naturelles existent depuis la création de la terre. Leurs émissions sur la surface de la terre à de faibles concentrations, et du fait des conditions météorologiques, les dispersent dans l'atmosphère et finissent par disparaître sans causer de dégâts. Pour cela, la pollution anthropique sera essentiellement traitée dans ce qui suit [4].

2.2 Les principaux polluants: leurs sources et effets

2.2.1 Monoxyde de Carbone (CO)

Origine : combustion incomplète de matières fossiles et de la biomasse en particulier dans les petites et moyennes installations mal réglées et surtout par les moteurs à combustion interne, essence particulièrement [5].

Effets sur la santé : mortel à forte dose à partir de 20 ppm.

Effets sur l'environnement : participation aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Contribution à l'effet de serre par une transformation en CO₂.

2.2.2 Dioxyde de soufre (SO₂)

Origine : émission lors de la combustion des matières fossiles soufrés (charbon, fioul, gazole). Émissions naturelles lors des éruptions volcaniques. Sources principales : centrales thermiques, grosses installations de combustion industrielles [6].

Effets sur la santé : irritation, affections respiratoires et à forte exposition peut provoquer des accidents cardio-vasculaires.

Effets sur l'environnement : principal responsable des pluies acides avec leurs effets sur les végétaux et sur l'acidification des eaux continentales (eutrophisation). Contribution à la dégradation des matériaux, donc des bâtiments et du patrimoine historique.

2.2.3 Oxydes d'azote (NO_x)

Composition chimique : combinaison de l'azote et de l'oxygène à haute température [7].

Origine : émission des installations de combustion des combustibles fossiles et de quelques procédés industriels (traitement de surfaces, fabrication d'engrais, ...). Émissions naturelles lors des éruptions volcaniques, feux de forêts et orages.

Sources principales : installations de combustion et véhicules automobiles.

Effets sur la santé : irritations, affections respiratoires et asthme.

Effets sur l'environnement : intervention dans la formation des SMOGs² oxydants et par effet indirect dans l'accroissement de l'effet de serre.

2.2.4 Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM)

Composition chimique : famille d'une grande diversité, pouvant contenir en plus des atomes de carbone et d'hydrogène (solvants hydrocarbonés), des atomes de chlore (solvants chlorés), d'oxygène (solvants oxygénés), de soufre, d'azote, etc. Usages ménagers, industriels ou professionnels [8].

Origine : évaporation lors de leur fabrication, stockage ou utilisation (peintures, colles, encres, solvants, ...), trafic automobile (combustion incomplète), agriculture et les sources naturelles, forêt essentiellement.

Effets sur la santé : gêne olfactive, risques cancérogènes, tératogènes et mutagènes pour certaines substances, irritations diverses et diminution de la capacité respiratoire.

Effets sur l'environnement : précurseurs de la formation d'ozone et responsables avec les NOx de la pollution photochimique.

2.2.5 Ozone (O₃) : Cas de l'ozone troposphérique

Origine : polluant secondaire, résultant de réactions entre polluants primaires (COV et NOx) sous l'effet de rayonnements solaires [9].

Effets sur la santé : irritations, affections respiratoires et asthme.

Effets sur l'environnement : effet néfaste sur la végétation et certains matériaux. Contribution à l'effet de serre et aux pluies acides.

2.2.6 Chlorofluorocarbones (CFC)

Origine : produits synthétiques de fabrication récente, utilisés comme fluides frigorigènes, agents de propulsion dans les bombes aérosols et dans la fabrication de mousses synthétiques [5].

Effets sur l'environnement : à l'origine de la dégradation de la couche d'ozone dans la stratosphère (trou d'ozone).

2.2.7 Hydro Chlorofluorocarbone (HCFC)

Origine : substances chimiques utilisées pour remplacer les CFC.

Effet sur l'environnement : impact sur la couche d'ozone (moins destructeurs que les CFC) [5].

Substituts : les HFC, mais aussi d'autres substances telles que les hydrocarbures et l'ammoniac.

2.2.8 Ammoniac (NH₃)

Origine : polluant essentiellement agricole (épandage), lors de la fabrication des engrais ammoniacés et d'origine naturelle [7].

² SMOG : Mot anglais composé de deux mot *smoke* (fumée) et *fog* (brouillard).

Effets sur la santé : irritant sur les muqueuses.

Effets sur l'environnement : intervention dans le renforcement du phénomène d'acidification par des réactions d'origine biologique de nitrification.

2.2.9 Particules et poussières

Origine : combustion des matières fossiles, du transport automobile (gaz échappement, usure, frottements, ...) et d'activités industrielles très diverses (sidérurgies, incinération, ...) [10].

Effets sur la santé : importants mais encore mal connus. Elles sont d'autant plus dangereuses qu'elles sont fines, car elles pénètrent plus profondément dans le système respiratoire.

Effets sur l'environnement : effets de salissure des bâtiments et des monuments.

2.2.10 Métaux lourds : plomb, mercure, zinc, cadmium, ...

Origine : combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères, ... et de certains procédés industriels. (N.B. : La généralisation de l'essence sans plomb a considérablement fait diminuer les concentrations de ce polluant.) [11].

Effets sur la santé : accumulation dans l'organisme : effets toxiques à court et/ou long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, ...

Effets sur l'environnement : Ils ne sont pas biodégradables (contamination des sols et des aliments) et peuvent donc se retrouver tout au long de la chaîne alimentaire. Certains lichens ou mousses sont utilisés pour surveiller les métaux dans l'environnement : "bio-indicateurs".

2.2.11 Composés organiques persistants (POPs)

Plus connus sous leur nom anglais à savoir *persistant organic particulate*.

Origine : pour les dioxines et furanes : combustion de produits chlorés (incinération d'ordures ménagères) et de certains procédés (en métallurgie) ; pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : dans certains gaz de combustion, en particulier ceux du bois dans de mauvaises conditions d'utilisation [5].

Effets sur l'environnement : difficilement dégradables car produits très condensés.

2.2.12 Odeurs

Origine : minérale (H₂S et mercaptans) mais le plus souvent d'origine organique : solvants, pratiques agricoles, processus de dégradations biologiques [5].

Effets sur la santé : rarement toxiques, mais elles représentent une nuisance parfois difficilement supportable pour ceux qui en sont victimes.

2.2.13 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Origine : phénomènes de combustion [12].

Effets sur la santé : certains sont reconnus très cancérigènes comme le BaP (Benzo-a-pyrène).

2.2.14 Gaz à Effet de Serre (GES)

Ne sont pas à proprement parler des polluants mais fortement soupçonnés d'être une cause prépondérante des phénomènes de changements climatiques.

Le protocole de Kyoto en dénombre quatre d'origine anthropique [13] :

2.2.14.1 Dioxyde de carbone (CO_2)

Origine : combustion des combustibles fossiles dans les sources fixes et les sources mobiles. Représente environ les deux tiers de la contribution des GES.

A noter que le CO_2 est l'objet d'échanges très complexes entre l'atmosphère et la biomasse (puits de carbone résultant de l'assimilation chlorophyllienne) et avec les océans (formation de plancton et de carbonates).

2.2.14.2 Méthane (CH_4)

Origine : anthropiques (fuites de gaz, grisou, agriculture et élevage) et des sources naturelles (marais, dégradation biologique, termites, ...).

2.2.14.3 Protoxyde d'azote (N_2O)

Origine : combustion des combustibles fossiles, quelques procédés industriels, véhicules automobiles, agriculture ou naturel (océans, sols).

2.2.14.4 Gaz fluorés (HFC, PFC, SF61).

Utilisation : système de réfrigération et employés dans les aérosols et mousses isolantes et dans les industries de semi-conducteurs.

3. Météorologie et pollution atmosphérique

Les conditions météorologiques jouent un rôle très important dans la détermination et le calcul des concentrations de la pollution atmosphérique. Elles agissent directement sur le transfert et la dilution des polluants dans l'atmosphère [14].

3.1 Le vent

Il détermine par sa direction les zones affectées par la pollution, et par sa vitesse le taux de dilution.

3.2 La température

Elle détermine le degré de stabilité de l'atmosphère et joue un rôle dans la dispersion verticale de la pollution. Elle influe aussi sur la vitesse des réactions chimiques des polluants dans l'atmosphère.

3.3 Le soleil

Il influe directement sur la pollution en transformant les oxydes d'azote en ozone.

3.4 Les précipitations

Leur rôle c'est le lessivage de l'atmosphère par entrainement des polluants au sol.

4. La pollution par les particules

4.1 Définition

On entend par particules celles dont le diamètre aérodynamique moyen en masse (DAMM) est égal ou inférieur à 10 microns (PM10), qui sont rejetées directement dans l'atmosphère ou qui se forment secondairement à partir de gaz précurseurs à la suite de transformations physiques et chimiques [15].

4.2 Classification

4.2.1 La taille

Le diamètre des particules peut varier entre 0,005 et 100 microns environ, mais celui des particules en suspension est généralement inférieur à 40 microns. Celles de diamètre supérieur à 40 microns sont suffisamment lourdes pour se déposer rapidement [10].

4.2.1.1 Les aérosols

Ils sont formés de particules solides ou liquides de diamètre inférieur à 100 μ m.

4.2.2.2 Les PM10 (*Particulate Matter*)

Les particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 10 μ m.

4.2.2.3 Les PM2.5

Les particules fines inférieures à 2,5 μ m.

4.2.2.4 Fumées noires

Ce sont des particules carbonées de diamètre compris entre 0,1 à 5 μ m.

4.2.2 Particules primaires ou secondaires

D'après ce mode de classification, les particules peuvent aussi être appelées primaires (rejetées directement dans l'atmosphère) ou secondaires (formées dans l'atmosphère à la suite de transformations chimiques et physiques) [10].

Les particules se distinguent des autres constituants atmosphériques parce qu'elles ne sont pas définies en fonction de leur composition chimique. Elles peuvent comprendre un large éventail d'espèces chimiques, y compris le carbone élémentaire et les composés organiques du carbone, les oxydes de silicium, d'aluminium et de fer, les métaux à l'état de traces, les sulfates, les nitrates et l'ammoniac [10].

4.3 Les sources des particules

L'émission directe des particules dans l'atmosphère est le résultat de procédés anthropiques ou naturels [4].

4.3.1 Sources naturelles

Volcanisme, Érosion éolienne, Embruns marins, sables fins, bactéries...

4.3.2 Sources anthropiques

- * Industries (sidérurgie, calcination, concassage...).
- * Transports (gaz d'échappements, usure des pièces métalliques...).
- * Chauffages domestiques.
- * Agriculture (mise en suspension des engrais et pesticides).

4.4 Les métaux lourds

Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques (ETM), existent naturellement mais en quantités très faibles dans les sols, l'eau et l'air [17].

Certaines activités humaines, comme la combustion du charbon, du pétrole, des déchets et certains procédés industriels en rediffusent en revanche en grande quantité dans l'environnement. Ils sont souvent liés aux particules fines PM_{2,5}, à l'exception du mercure, qui est principalement gazeux [17].

Si une partie des métaux lourds peut retomber aux alentours de la source d'émissions, certains métaux lourds peuvent voyager sur de longues distances [17].

Les métaux lourds ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air : ils sont bio-persistants, perturbent les écosystèmes, détériorent les sols, les eaux de surface, les forêts et les cultures et s'accumulent dans la chaîne alimentaire. Certains sont cancérigènes pour l'homme [17].

4.4.1 Définition

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques (ETM). On considère en général les métaux lourds suivants: Arsenic (As), Cadmium(Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn).

Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre:

4.4.1.1 Mercure-Hg

Le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (Inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu. Il est extrêmement toxique et a des effets sur le système nerveux. La volatilité importante du mercure en fait un polluant important dans les études de pollution transfrontière [16].

4.4.1.2 Plomb - Pb

Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir antidétonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. L'ingestion de plomb déclenche le saturnisme [16].

4.4.1.3 Cadmium- Cd

Il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinaux [17].

4.4.1.4 Antimoine - Sb

L'antimoine est un métalloïde de couleur gris métallique, présentant deux niveaux d'oxydation (III et V). Il est utilisé comme retardateur de flamme, dans les semi-conducteurs et dans des alliages métalliques. Cet élément est répandu dans l'environnement par la combustion du charbon, les activités minières ou métallurgiques (Gebel *et al.*, 1998) [16].

4.4.1.5 Arsenic – As

L'arsenic est un métalloïde de couleur gris métallique, possédant deux états d'oxydation (III et V). Il est souvent associé aux activités minières et à la combustion de ressources organiques fossiles. Il a été utilisé en agriculture en tant que pesticide (arséniate de plomb), en tant que durcisseur dans les cartouches de chasse, ou associé à Ga (Galium) ou In (Indium) pour former des matériaux supraconducteurs [17].

C'est un élément non essentiel et un poison puissant dont la toxicité varie avec l'état d'oxydation : les arsénites (III) sont plus toxiques et plus mobiles dans les sols que les arséniates (V).

4.4.1.6 Chrome – Cr

Le chrome est un métal dur, blanc grisâtre, possédant 3 degrés principaux d'oxydation (II, III, VI) et cinq états d'oxydation inhabituels (-II, -I, 0, IV, V). L'état d'oxydation conditionne la stabilité et la toxicité de Cr dans les sols (Cr (III) plus stable mais moins toxique que Cr (VI)). Il est principalement utilisé dans la fabrication de l'acier et d'autres alliages, de pigments et dans le traitement du cuir, du bois et de l'eau.

C'est un élément essentiel pour l'homme (maintien du métabolisme du glucose), mais sa nécessité n'a pas été démontrée pour les végétaux [17].

4.4.1.7 Cobalt – Co

Le cobalt est un métal de transition de couleur blanc-argenté, présentant deux états d'oxydation (II et III). Il est utilisé dans les alliages, les aimants, les médias d'enregistrement, et comme catalyseur dans l'industrie chimique et pétrolière. C'est un élément essentiel entrant, par exemple, dans la composition de la vitamine B12 mais présentant un caractère toxique dû à ses propriétés chimiques [18].

4.4.1.8 Cuivre – Cu

Le cuivre est l'un des métaux les plus anciennement connus car il existe à l'état natif (comme Ag, As, Au, Sb, Pb). Il est principalement utilisé (seul ou sous forme d'alliage) dans la confection de feuilles métalliques, de câbles électriques ou de tuyaux (très largement utilisé pour les conduites d'eau) [18].

Le Cu est un oligo-élément, il est plus communément étudié pour les problèmes de carence qu'il peut engendrer chez les végétaux, le bétail et l'homme, que pour sa toxicité.

4.4.1.9 Molybdène – Mo

Le molybdène est un métal de transition, d'aspect blanc métallique, et très résistant à l'état pur. Il est principalement utilisé dans les alliages pour ses propriétés efficaces dans le durcissement de l'acier.

La disponibilité de Mo augmente avec le pH (ce qui le distingue de la majorité des ETM) [16].

4.4.1.10 Nickel – Ni

Métal de couleur généralement grise, le Ni est ferromagnétique et présente plusieurs propriétés communes avec Fe. Il est ordinairement présent dans l'environnement à un état d'oxydation (+II) [18].

Le Ni est largement utilisé dans l'industrie car il apporte aux alliages (acier inoxydable par exemple) solidité, résistance à la corrosion, et autres propriétés relatives au comportement électrique, magnétique et thermique.

Le Ni est un oligo-élément essentiel, mais à de très faibles teneurs.

4.4.1.11 Sélénium – Se

Le sélénium est un élément non métallique de couleur gris-noir, présentant 3 états d'oxydation (II, IV, VI).

La gamme dans laquelle il est présent dans les systèmes biologiques en quantité suffisante pour éviter une carence, mais sans être toxique, est étroite : de 0.04 à $4\mu\text{g.g}^{-1}$ [18].

4.4.1.12 Vanadium – V

Le vanadium est un métal blanc, brillant, mou et ductile. Il possède une bonne résistance à la corrosion par les composés alcalins et par les acides chlorhydrique et sulfurique. Les états d'oxydation communs du vanadium sont +II, +III, +IV et +V. La majorité du vanadium produit est employé en tant que ferrovandium ou comme additif de l'acier [16].

Le vanadium est classé carcinogène par l'U.S. EPA.

4.4.1.13 Zinc – Zn

Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène de l'air pour former une couche d'oxyde blanc imperméable. On le trouve généralement à l'état d'oxydation (II) [17].

Il est principalement extrait sous forme de sulfure (ZnS ; sphalerite) dont l'oxydation est généralement accompagnée d'une oxydation de la pyrite créant un contexte acide favorable à la mise en solution de différents ETM. Zn est largement utilisé pour la galvanisation de l'acier, mais aussi dans des produits cosmétiques (crèmes, shampoings), batteries, pigments et peintures.

Les 03 premiers métaux (Hg, Pb, Cd) se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols.

4.4.2 Les principales sources d'émission

Le quart de la contamination par les métaux est dû aux ordures ménagères (piles au cadmium, batteries au plomb, cuivre et zinc des pesticides, etc.). Les principales autres sources d'émission sont les suivantes [19] :

Le tableau N° 1 indique sur les principales sources d'émissions de polluants.

TABLEAU 1: LES PRINCIPALES SOURCES D'ÉMISSIONS DE POLLUANTS [19].

Industrie émettrice	Principaux métaux lourds émis à l'atmosphère
Combustibles minéraux solides	Arsenic (As), Cadmium (Cd), Cuivre (Cu)
Combustion fioul lourd	Arsenic (As), Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Nickel (Ni), Sélénium (Se), Zinc (Zn)
Combustion du charbon	Mercure (Hg), Zinc (Zn)
Combustion du pétrole	Mercure (Hg)
Combustion biomasse	Zinc (Zn)
Incineration de déchets	Arsenic (As), Sélénium (Se), Chrome (Cr)
Production de verre	Plomb (Pb)
Fabrication de certains verres (cristal)	Arsenic (As), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Zinc (Zn)
Métallurgie des ferreux	Arsenic (As), Cuivre (Cu), Zinc (Zn)
Fonderie	Chrome (Cr)
Production de zinc	Cadmium (Cd)
Industrie du chlore	Mercure (Hg)
Production de ciment	Chrome (Cr)
Production du chlore	Mercure (Hg)
Première et seconde fusion du plomb	Plomb (Pb)
Fabrication de batteries électriques	Plomb (Pb)

4.4.3 Les impacts des métaux lourds

La présence des métaux lourds dans l'environnement est connue depuis bien des années. La forte concentration de ces derniers présente un risque majeur pour la santé humaine et pour l'environnement par leurs propriétés [15]:

- * Ils ne sont pas dégradables.
- * Ils sont enrichis au cours de processus minéraux et biologiques, puis s'accumulent dans la nature.
- * Ils peuvent être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire, entraînant des effets aigus ou chroniques.

4.4.3.1 Impact sur la végétation

«Les trop fortes teneurs en métaux lourds diminuent la densité, la biodiversité et l'activité de la microflore et de la microfaune du sol.»[54].

Une forte concentration des métaux lourds entraîne un déséquilibre métabolique. En effet, l'accumulation des métaux lourds dans l'organisme des végétaux se traduit par le remplacement des éléments essentiels par leur pouvoir oxydant et leur forte stabilité. Ceci conduit non seulement à la nécrose des racines et par la suite la mort des végétaux mais aussi le transfert de ces métaux dans la chaîne alimentaire [20].

4.4.3.2 Impact sur les animaux

«Les animaux peuvent être contaminés par contact avec la peau, par inhalation de poussières toxiques et par ingestion de l'eau et d'aliments pollués. La dispersion des métaux constitue un danger pour la faune sauvage, le bétail et l'Homme, qui se situe en bout de chaîne alimentaire. Dans certaines zones très contaminées, le pâturage, les cultures fourragères ou destinées à l'alimentation humaine sont interdites.»[54].

4.4.3.3 Impact sur la santé

Les métaux lourds dans l'atmosphère sont sous forme de particules en suspensions à l'exception de certains métaux qui sont volatils à température ambiante (EX. le mercure). Par conséquent, l'homme est touché par cette pollution via les voies respiratoires qui se traduit par l'apparition de nombreuses maladies (cancers, maladies respiratoires...etc.)[21].

Le tableau N° 2 montre les effets de la pollution sur la santé.

TABEAU 2: TYPES DE POLLUTION ET MORBIDITÉ.

Type	Sources	Morbidité
Aérienne	Fumée domestique, auto-moto, carburants, industrie.	Malaises respiratoires, cancers, réchauffement général.
Hydrique	Eau- aliments	Diarrhée, mal à vecteurs
Sols	Déchets domestiques, déchets urbains, industrie	Dengue, cancers, malformations, retard mental (métaux lourds)

Le tableau N° 3 indique sur les effets des métaux sur la santé :

TABLEAU 3: LES ORGANES AFFECTES PAR LES METAUX LOURDS.

Organes affectés par les métaux lourds						
	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Thallium
Mutations génétiques	-	-	-	X	-	-
Système immunitaire	-	X	-	-	-	-
Système nerveux	X	-	-	X	X	X
Lésions cérébrales	-	-	X	X	X	-
Peau	X	-	-	-	-	X
Poumons système respiratoire	X	X	-	-	-	X
Système digestif et gastro-intestinal	X	-	-	X	-	-
Foie	-	-	-	X	-	-
Reins	X	X	-	X	X	-
Sang	-	-	-	-	X	-
Cancer	X	X	-	-	-	-

Une fois les éléments traces métalliques dans l'air, ils atteignent la chaîne alimentaire suivant le cycle représenté dans la figure N° 1 :

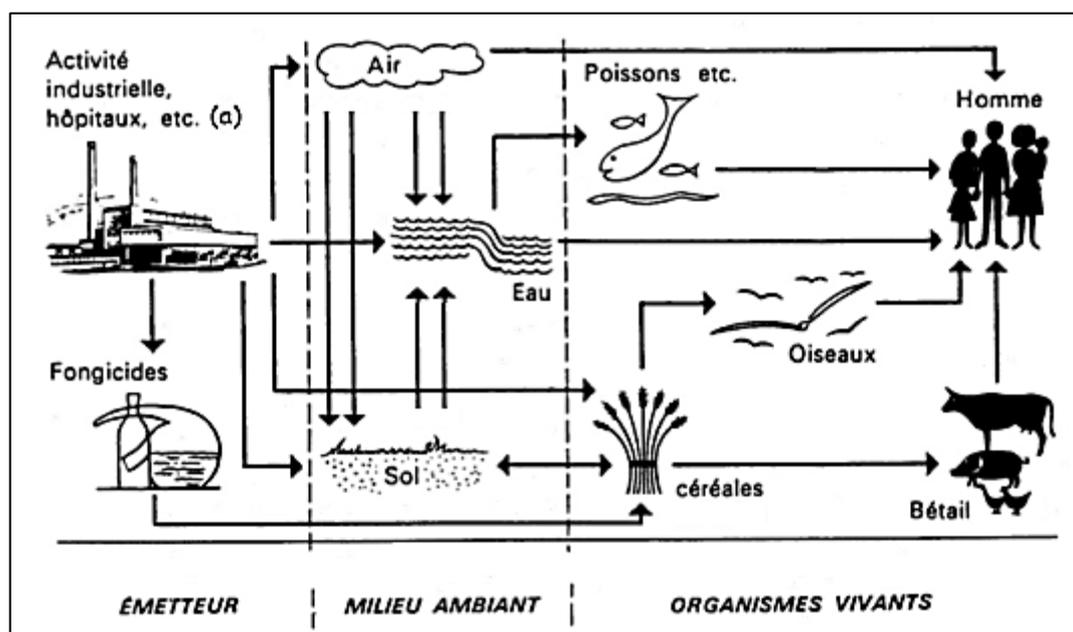


FIGURE 1: LE CHEMINEMENT DES METAUX LOURDS DANS L'ENVIRONNEMENT.

4.4.4 Les normes de rejets

Selon l’OMS (l’Organisation Mondiale de la Santé) et le journal officiel de l’Union européenne, la réglementation ne touche que certains métaux lourds [22].

Le tableau N° 4 exprime les valeurs limites et les valeurs cibles de quelques métaux lourds selon l’OMS et la directive de l’Union européenne.

TABEAU 4: LES NORMES DE REJETS DE QUELQUES POLLUANTS DANS L’AIR.

Polluant	Union Européenne [22],[23]		OMS [15]
	Valeur limite	Valeur cible (³)	Valeur limite
Plomb	0,5 µg/m ³ (⁴)	-	0,5 µg/m ³
Arsenic	-	6 ng/m ³	-
Cadmium	-	5 ng/m ³	5 ng/m ³
Nickel	-	20 ng/m ³	20 ng/m ³
Mercure [15]	50 ng/m ³	-	-

³ Moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM10.

⁴ La procédure de réexamen de la présente directive prévue à l’article 10 envisagera la possibilité de compléter ou de remplacer la valeur limite par une valeur limite de dépôt à proximité immédiate des sources ponctuelles.

CHAPITRE II :
La biosurveillance végétale et
fongique

Introduction

Depuis déjà plusieurs années, la biosurveillance végétale et fongique a suscité de nombreuses recherches. Connue pour être un outil opérationnel de surveillance, elle a pourtant été remise en cause et mise en concurrence avec les mesures physicochimique, desquelles elle n'est pas rivale mais complémentaire [24].

1. La biosurveillance et les limites des méthodes physicochimiques

Pour la surveillance de la qualité de l'air, des réseaux de capteurs sont couramment utilisés. Ils permettent d'effectuer des mesures physicochimiques et de donner des valeurs numériques, sans pour autant indiquer avec certitude l'effet toxique associé et les effets de synergie [25]. Cependant ces méthodes se heurtent rapidement à cause de :

- * la faible représentativité de l'échantillon.
- * les difficultés analytiques en raison de la présence fréquente de faibles teneurs en polluants.
- * Des couts élevés des appareils de mesures, la maintenance et des couts unitaires des analyses.
- * La non-association des valeurs numériques résultantes avec les nuisances spécifiques qui pourraient se manifester sur l'être vivant.

Une alternative consiste à avoir recours à des techniques intégratives de mesure capable d'associer les résultats aux effets observés chez les organismes vivants, c'est la notion de biosurveillance [26].

Les méthodes de biosurveillance sont complémentaires aux mesures physicochimiques. Elles se basent sur l'utilisation des organismes vivants, tels que les lichens, les mousses et certains végétaux supérieurs. Ces organismes, capables d'accumuler les polluants, sont utilisés pour mettre en évidence l'imprégnation de l'environnement par ces derniers.

Les études de biosurveillance végétale et fongique permettent de localiser les sources majeures et de suivre l'évolution de la contamination environnementale dans l'espace et/ou le temps [24].

2. Concepts et définitions

Selon la définition proposée par Garrec et Van Haluwyn (2002) : « la biosurveillance végétale de la qualité de l'air est l'utilisation de réponses à tous les niveaux d'organisation biologiques, d'un ou plusieurs organismes vivants, pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement ».

En général, on distingue deux principes de biosurveillance [27] :

2.1 La biosurveillance sensible

Elle utilise la réponse des organismes au stress causé par la pollution, trois concepts sont à définir :

2.1.1 La biointégration

C'est une variation densitaire qui touche la population de l'espèce utilisée (présences ou absence de l'espèce) [28].

2.1.2 La bioindication

C'est toute modification visible notée au niveau individuel tel que les altérations physiologiques tissulaires ou morphologiques [29].

2.1.3 Le biomarquage

C'est des altérations moléculaires, biochimiques et cellulaires non visible qui se situent au niveau infra individuel [30].

2.2 La biosurveillance par accumulation

Elle utilise des organismes, nommés bioaccumulateurs, qui ont la capacité de stocker les polluants dans leurs tissus suite à des mécanismes de fixation et/ ou de transfert.

Le bioaccumulateur sert de matrice de dosage des différents polluants, il doit [31]:

- * Accumuler les polluants sans disparaître.
- * Fournir suffisamment de tissus pour l'analyse.
- * Avoir un facteur de concentration suffisant pour pouvoir être analysé directement sans pré-concentration⁵.
- * Représenter le mieux possible le niveau de contamination de l'environnement

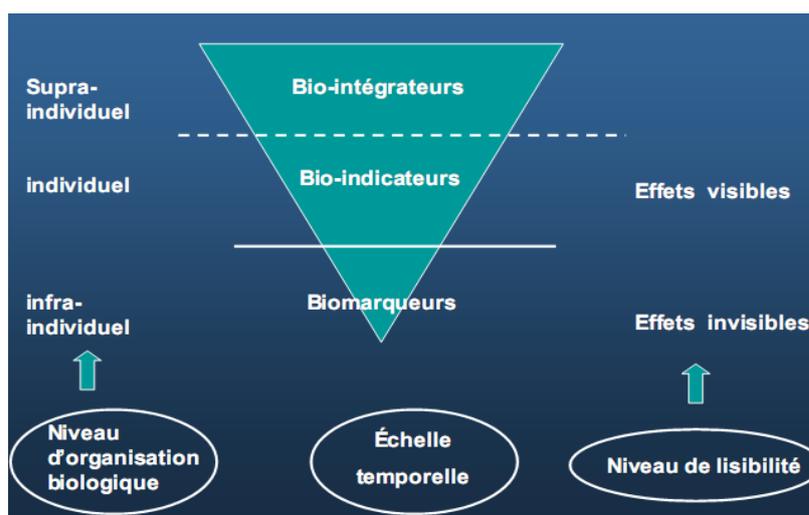


FIGURE 2: LES INDICATEURS DE REACTION AU NIVEAU BIOLOGIQUE.

⁵ Pré-concentration : concentration préalable des polluants afin de pouvoir dépasser les limites de quantification de l'appareil d'analyse.

3. Les organismes utilisés en biosurveillance

Afin d'évaluer la teneur en polluants dans l'atmosphère, trois grandes catégories d'organismes sont utilisés : les lichens, les mousses et les végétaux supérieurs.

3.1 Les lichens

Depuis déjà longtemps, les **lichens** sont utilisés comme des bio-indicateurs et bio-intégrateurs performants dans la détection de la pollution atmosphérique. Résultants d'une symbiose, entre une algue et un champignon, les lichens dépendent exclusivement de l'atmosphère comme source de nutriments. Ils absorbent les polluants et les accumulent dans leurs tissus en même temps que les éléments qui leur sont nécessaire pour la survie.

Les lichens ont été l'objet de nombreuses recherches concernant la pollution atmosphérique en général, et la contamination par les ETM en particulier [24].

3.2 Les mousses

Certaines études ont mis en valeur la propriété de bioaccumulation des polluants atmosphériques des mousses, à la fois des retombées sèches ou humiques. Comme les lichens, ils ont des échanges, principalement, avec l'atmosphère [32].

les mousses font partie des Bryophytes⁶, leur architecture et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules [55].

De plus les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent, notamment les ETM, ce qui en fait des organismes adéquats pour la biosurveillance de ceux-ci [56].

3.3 Les végétaux supérieurs

Les végétaux sont fréquemment utilisés comme bioaccumulateurs. Ce sont le plus souvent les feuilles qui sont récoltées, dans lesquelles les polluants particuliers, peu solubles, peuvent être recueillis par lavage ou à l'aide d'un solvant [24].

Les végétaux supérieurs sont généralement utilisés dans des environnements fortement dégradés ou la pression anthropique⁷ élevée provoque la raréfaction des lichens et des mousses [57;58;59].

⁶ Bryophytes : un embranchement du règne des végétaux. Les plantes de cet embranchement sont des végétaux terrestres caractérisés par l'absence de système vasculaire.

⁷ Pression anthropique : Les effets générés par les activités humaines sur les ressources naturelles et les écosystèmes.

4. Les voies de la biosurveillance

Deux stratégies sont principalement mises en œuvre dans la biosurveillance :

4.1 La biosurveillance passive (in-situ)

Elle utilise des organismes déjà présents sur le site (organismes indigènes). Ceux ayant déjà été exposés aux polluants, il ne reste plus qu'à les collecter et à les analyser. Ce qui en fait que c'est une méthode rapide [27].

- * Cependant il faut veiller à ce qu'ils aient [31] :
- * Une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentatifs de la zone étudiée.
- * Une saisonnalité compatible avec les objectifs de la campagne de mesure.
- * Un mode de collecte facile.

4.2 La biosurveillance active (ex-situ)

Appelée aussi méthode de transplants, elle nécessite beaucoup plus de temps que la méthode passive. En effet, il faut laisser le temps aux transplants d'accumuler les polluants présents dans leur nouvel environnement. Cette phase d'exposition pouvant être plus au moins longue selon le type d'organismes choisi et le polluant étudié [27].

La transplantation est une technique expérimentale où les organismes utilisés pour l'étude sont transférés d'un environnement non pollué vers un site pollué ou suspecté de l'être. Cette alternative à la méthode in situ permet de palier aux problèmes suivants :

- * L'absence d'espèces utilisables dans la zone d'étude ;
- * La mauvaise répartition d'une espèce qui ne permet pas un échantillonnage représentatif de la zone.

Cependant, l'avantage principal de la transplantation est qu'il permet un total contrôle du temps d'exposition.

5. Applications des méthodes de biosurveillance

Les méthodes de biosurveillance végétale et fongique ont trouvé de nombreuses applications, en particulier dans les domaines suivants [26] :

- * Dispersion de panache et de polluants secondaires.
- * Suivi de pollutions sur de grandes périodes ou sur de vastes zones [33].
- * Études préliminaires de la répartition des polluants avant l'installation de dispositifs lourds (ex. capteurs physicochimiques).
- * Évaluation de l'impact des polluants sur la santé des organismes vivants.

- * Détection des pollutions chroniques⁸, accidentelles ou intermittentes.
- * Évolution de la pollution suite à la présence de nouvelles sources (ex. nouvelles voies de circulation et nouvelles industries).
- * Études pour guider des politiques de protection de l'air (ex. nouveaux plans de circulation automobile, politique de pistes cyclables, politique d'espaces verts, etc.)

6. Avantages et intérêt pratique de la biosurveillance

Il est vite apparu que l'utilisation d'organismes vivants en biosurveillance offrait de nombreux avantages, aussi bien du point de vue pratique que technique et économique [26].

6.1 Du point de vue technique

- * Bio-concentrer fortement les contaminants organiques et inorganiques et fournir une information intégrée dans le temps.
- * Prendre en compte la situation réelle de la pollution atmosphérique.
- * Donner des informations sur la contamination, reçue par les organismes vivants dans des conditions réelles (biodisponibilité des polluants, risques sanitaires potentiels, contaminations des chaînes alimentaires).
- * Détecter des pollutions nouvelles ou accidentelles non prises en compte par les systèmes classiques.
- * Sensibiliser les populations aux problèmes de la pollution par le fort impact physiologique apparu sur le matériel biologique.

6.2 Du point de vue pratique et économique

- * Faible coût d'investissement et faible infrastructure (ex. pas besoin d'électricité).
- * Facilités d'entretien et de suivi, avec une faible technicité, intéressantes pour les pays en voie de développement.
- * Possibilité de pouvoir multiplier les sites de mesure avec des facilités de redéploiement et d'extension (ex. pour la cartographie).
- * Possibilité de densifier, à faibles coûts, les réseaux de capteurs physico-chimiques déjà existants [24].

⁸ Pollution chronique : une pollution permanente causée soit par des émissions répétées ou continues de polluants, soit par la présence de polluants très rémanents.

7. Les limites de la biosurveillance

Les principales limites pratiques de ces méthodes sont avant tout liées au caractère biologique de celles-ci [24]:

- Une disponibilité non permanente des plantes en fonction du climat et du cycle de végétation.
- Des difficultés pour remonter aux concentrations en polluants dans les milieux.
- Des possibilités d'artéfacts⁹ avec d'autres stress biotiques ou abiotiques.
- A doses égales, les polluants en faible concentration peuvent provoquer un impact physiologique important qui ne traduit pas forcément une pollution anthropique.

⁹ Artefact : phénomène accidentel dû à une intervention humaine

CHAPITRE III :
Lichens et pollution
atmosphérique

Introduction

Parmi les organismes vivant dans les boisements, les lichens présentent un intérêt particulier pour l'étude de la pollution atmosphérique, du fait de leur grande sensibilité aux conditions du milieu qui les abrite. Ils peuvent être considérés comme des indicateurs biologiques de premier ordre.

En effet, Ils intègrent sur le long terme les effets des différents facteurs biotiques et abiotiques de leur environnement.

Une analyse de leurs peuplements donne des indications sur les niveaux de perturbations des milieux qui les hébergent. [34].

1. Généralités sur les lichens

1.1 La symbiose lichénique

Les lichens ont longtemps été classés en un groupe autonome par les premiers botanistes. Il a fallu attendre 1867 pour que leur véritable nature soit découverte. Depuis, ils ont été progressivement intégrés à la systématique des champignons [35]

Un lichen résulte de l'association symbiotique entre un champignon hétérotrophe (mycosymbionte) et un organisme autotrophe, algue ou cyanobactérie (photosymbionte).

Le champignon fournit un abri à l'algue ou à la cyanobactérie, soit une protection contre : les pertes d'eau trop brutales, les rayonnements solaires trop intenses et les animaux, ainsi que les sels minéraux, l'eau et les antibiotiques nécessaires à leur bon développement.

L'algue ou la cyanobactérie, quant à elle, par son activité photosynthétique, va fournir au champignon la matière organique, entre autres les glucides, nécessaire à son existence.

Cette association, étroite et à bénéfice réciproque entre ces deux êtres vivants, se nomme symbiose [33].

1.2 La morphologie d'un lichen

Le champignon est responsable de la morphologie du lichen, c'est-à-dire, de la forme de son corps. Ce dernier est appelé « **thalle** ».

Le thalle est formé par un réseau de filaments nommés « **hyphes** », ils sont comparables au mycélium des champignons. C'est au milieu d'un enchevêtrement de ces filaments que se trouvent les algues (Figure 3, Figure 4)

Au niveau de la partie inférieure du thalle, on observe un nouvel entrelacement de filaments servant à fixer le lichen à un support. Ce sont les **rhizines** [33].

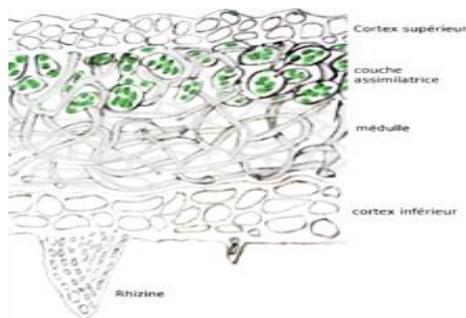


FIGURE 3 : COUPE TRANSVERSALE DU THALLE.

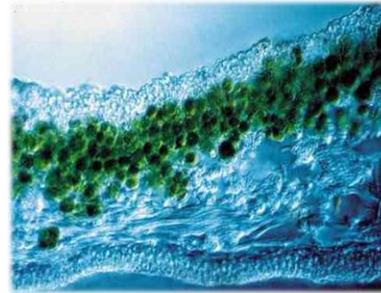


FIGURE 4 : VUE MICROSCOPIQUE DU THALLE

3. Les constituants des lichens

3.1 Le thalle

Les lichens sont dépourvus de tiges, de feuilles, de racines et de système vasculaire. Le thalle constitue leur appareil végétatif.

Les six (06) grands types morphologiques d'après la littérature sont [36] :

- * Les thalles crustacés ;
- * Les thalles foliacés ;
- * Les thalles fruticuleux ;
- * Les thalles squamuleux ;
- * Les thalles complexes ;
- * Les thalles gélatineux.

Seuls les trois premiers types de thalles sont retenus, du fait de leur abondance dans la nature:

3.1.1 Les thalles crustacés

Ils sont entièrement soudés au support et il est impossible de les prélever sans les détériorer.

Le thalle crustacé, de loin le plus répandu, a l'aspect d'une « croûte » parfois fendillée, compartimentée ou lobée au pourtour.

Une variante particulière du thalle crustacé est le thalle lépreux, où la croûte est entièrement formée de petits granules farineux (Figure 5).

3.1.2 Les thalles foliacés

Ils se présentent sous la forme de « feuilles » le plus souvent divisées en lobes. Ils sont faiblement attachés au substrat, par des organes particuliers : rhizines, ombilics,...etc. et sont facilement détachables (Figure 7).

3.1.3 Les thalles fruticuleux

Ils sont constitués de « branches », le plus souvent ramifiées, formants de petits buissons.

Les thalles sont soit pendants, ce sont les lichens « en barbes », ou dressés, ce sont les lichens « en arbustes » (Figure 6).

On distingue en fonction de la forme des branches :

- * les thalles fruticuleux à branches aplaties ;
- * les thalles fruticuleux à branches cylindriques.



FIGURE 7: LICHENS A THALLE CRUSTACÉ.



FIGURE 6: LICHENS A THALLE FRUTICULEUX.



FIGURE 5: LICHENS A THALLE FOLIACÉ.

3.2 Organes particuliers

3.2.1 Rhizines et cils

3.2.1.1 Les rhizines

Présentes quasi exclusivement chez les thalles foliacés, ce sont des manchons ou des faisceaux plus ou moins compacts d'hyphes qui assurent l'adhésion du thalle à son substrat. Elles peuvent être simples ou ramifiées (Figure 9), de différentes couleurs et leur localisation n'empêche pas nécessairement, lorsqu'elles sont longues et abondantes, qu'elles puissent déborder latéralement du thalle

3.2.1.2 Les cils

Ils ont, à peu près, la même structure que les rhizines, mais ne servent pas à l'adhésion du thalle au substrat. Ils peuvent être présents à la marge du thalle ou des ascocarpes (Figure 8).

3.2.2 Poils et pruine

Des hyphes plus ou moins libres et fines, parfois incurvées, peuvent se développer à la surface d'un thalle; elles sont habituellement qualifiées de poils et leur ensemble forme un tomentum. La surface du thalle peut être parsemée, parfois localement, de petits amas de cristaux blanchâtres et luisants (oxalate de calcium); on parle dans ce cas de pruine.

3.2.3 Cyphelle et pseudocyphelles

3.2.3.1 Les cyphelles

Ce sont des dépressions de contour généralement arrondi, assez profondes et à cavité de couleur claire, que l'on observe à la face inférieure des thalles. Les cyphelles sont typiquement cortiquées [37].

3.2.3.2 Les pseudocyphelles

Ce sont des interruptions du cortex qui laissent entrevoir la médulle sous-jacente. Elles peuvent être ténues ou bien distinctes, et peuvent adopter des formes diverses: punctiformes, allongées ou linéaires, ou en réseau [37].

3.2.4 Céphalodies

Les Céphalodies sont des formations organisées par le mycobionte du lichen, mais qui contiennent un photobionte différent de celui qui domine le thalle proprement dit.

Elles sont connues uniquement chez les lichens à algue verte et contiennent toujours une cyanobactérie. Elles peuvent être internes au thalle, et dès lors pratiquement invisibles sans coupe anatomique [37].



FIGURE 8: CILS MARGINAUX D'ANAPTYCHIA CILIARIS [60].

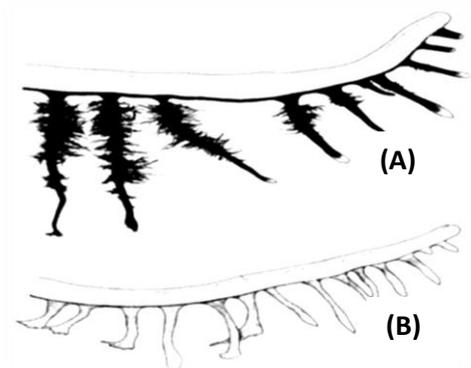


FIGURE 9: RHIZINES DE DEUX ESPÈCES DE PHYSCONIA : (A) RHIZINES RAMIFIÉES ; (B) RHIZINES SIMPLES.

4. La reproduction des lichens

La reproduction des lichens met en jeu des mécanismes très particuliers. Pour se reproduire les deux partenaires doivent obligatoirement se retrouver, ils peuvent alors se disperser ensemble au travers de mécanismes végétatifs comme il peut y avoir la reproduction de le mycobionte seul ce qui implique un mécanisme sexuel [37].

4.1 Reproduction végétative

La reproduction végétative du lichen peut se faire par simple fragmentation du thalle, à la suite de contrainte mécaniques : arrachement par le vent, piétinement par les animaux...etc.

Les deux partenaires organisent pour ce type de reproduction des organes végétatifs ce sont les isidies ou les soralies [37].

4.2 Reproduction asexuée

Le mycobionte produit chez de nombreuses espèces des spores sans faire intervenir de processus sexuel évident. Ces spores sont produites à l'extrémité des hyphes, ils sont de formes et de dimensions différentes. Pour reconstituer un thalle lichénisé, les spores doivent obligatoirement retrouver un partenaire algal [37].

5. Écologie des lichens

Les lichens se rencontrent dans les milieux les plus divers et sur les substrats les plus variés, dès lors que leur milieu présente une certaine stabilité dans le temps. Comme pour les autres êtres vivants, leur distribution est liée au type de substrat qu'ils colonisent, ainsi qu'aux conditions du milieu.

La plupart des lichens sont assez strictement inféodés à des conditions de substrats et de climat données, et peuvent donc servir d'indicateurs biologiques fiables [35].

5.1 Les types de groupements par substrat

La plupart des lichens sont susceptibles de coloniser des substrats bruts, sur lesquels ils jouent souvent un rôle de pionniers et où ils peuvent former des groupements ou associations composées de diverses espèces. Il existe [25] :

5.1.1 Les espèces croissantes sur les rochers

Qualifiées de saxicoles ou de rupicoles, elles sont très sensibles aux caractéristiques mécaniques et chimiques de leur support: acidité, composition chimique, capacité de rétention en eau, tendance au délitage ou à la fragmentation, etc.

La distinction peut être faite entre les espèces qui croissent sur des rochers naturels ou des murs, et les espèces qui croissent sur des matériaux de substitution (béton, tuile, asbeste....) (Figure 10).

5.1.2 Les espèces croissantes sur les écorces des arbres et arbustes

Nommées corticoles, elles ne tirent aucun élément nutritif de leur support, mais sont très sensibles aux caractéristiques mécaniques et chimiques de celui-ci: acidité, capacité de rétention en eau, spongiosité, etc.

La distinction peut être faite entre un substrat vivant, auquel cas le lichen est dit épiphyte (Figure 11) et un substrat mort, auquel cas le lichen est dit lignicole (Figure 12).

5.1.3 Les espèces croissantes sur le sol

Elles sont dites terricoles. Influencées par le pH du substrat, sa granulométrie, sa richesse en matières humiques ou en débris végétaux, son empoisonnement en métaux lourds et surtout son degré de rudération qui sont des facteurs discriminants importants [37] (Figure 13).



FIGURE 10: LICHENS SAXICOLES.



FIGURE 11: LICHENS ÉPIPHYTES.



FIGURE 12: LICHENS LIGNICOLES.



FIGURE 13: LICHENS TERRICOLES.

5.2 Les facteurs du milieu

En dehors des facteurs substratiques, la plupart des lichens montrent des exigences très précises en matière d'éclairement et surtout d'humidité. Ces préférences conditionnent de façon assez précise leur distribution à l'intérieur des différents écosystèmes, notamment forestiers.

Par ailleurs, de nombreux lichens sont très sensibles à la pollution et aux différents apports chimiques extérieurs.

La disponibilité en eau paraît bien être le premier facteur à considérer. Si les espèces lichénisées avec des cyanobactéries semblent exiger de l'eau sous forme liquide, celles lichénisées avec des algues vertes dépendent de la disponibilité en eau pulvérisée sous forme d'aérosol (brouillards). C'est ce qui explique que les déserts chauds, très secs où l'eau n'apparaît que sous forme de pluies sporadiques n'abritent pratiquement pas de lichens, alors que les déserts pratiquement sans pluie mais à brouillards très fréquents sont colonisés par des populations exubérantes de lichens.

L'éclairement est bien entendu un deuxième facteur essentiel, beaucoup d'espèces nécessitant un éclairage important [37].

6. L'hypersensibilité des lichens

Le recours aux lichens pour l'évaluation de la pollution atmosphérique peut être justifié dans ce qui suit [36]:

- * Les lichens sont dépourvus de système de contrôle des entrées et des sorties, ils n'ont pas de stomates pour contrôler les échanges avec l'atmosphère. Ils fonctionnent «en éponge», ils absorbent tous les constituants de l'air, polluants compris.
- * Les lichens sont, pour leur nutrition, entièrement dépendants de l'atmosphère qui leur apporte l'eau et les sels minéraux. A la suite d'une pluie, le champignon stocke l'eau dans ses hyphes et permet le maintien des deux partenaires pendant un certain temps. Le lichen peut alors développer son thalle. En période de sécheresse, le lichen devient inactif, mais capable de survivre jusqu'à la prochaine pluie où il redeviendra actif, phénomène de reviviscence.
- * Les lichens subsistent en hiver lorsque les pollutions atmosphériques sont les plus aiguës du fait du peu de mouvement de l'air et du fonctionnement intense des appareils de chauffage.
- * Les lichens poussent très lentement et vivent très longtemps, plusieurs centaines d'années. la quantité de produits toxiques accumulés par rapport à leur propre masse est très grande.

7. L'accumulation des polluants dans les lichens

7.1 Processus d'accumulation

Les métaux et autres éléments sont libérés dans l'atmosphère par des activités industrielles ou par la mise en suspension de particules du sol.

Ils sont alors présents dans l'atmosphère sous différentes formes avant de se déposer sur les thalles des lichens, puis incorporés sous forme élémentaire ou associés à d'autres éléments.

Ils forment ainsi des molécules ayant plus ou moins d'affinités avec des tissus vivants [25].

La granulométrie des particules est très variable et à chacune de ces formes correspond un comportement particulier dans l'environnement.

Selon ce comportement, les éléments-traces se déposent plus ou moins rapidement sur les lichens, suivant différents processus, en distinguant cinq (05) [61]:

- * Les dépôts humides : pluie et neige.
- * Les dépôts occultes : brouillard, rosée...etc. Ces dépôts ont normalement lieu dans une atmosphère stable.
- * La sédimentation : dépôt sec de particules par gravité, selon la vitesse du vent.
- * L'impaction : les aérosols, particules de faible granulométrie restant normalement en suspension dans l'atmosphère, sont interceptés par les thalles des lichens.
- * L'incorporation directe des gaz : ce processus ne nous intéresse ici que dans la mesure où le mercure peut être incorporé de cette façon.

Les thalles de la plupart des lichens foliacés et fruticuleux ont une grande surface par rapport à la surface du substrat couverte, les deux derniers processus peuvent donc être relativement moins importants pour des thalles à surfaces lisses.

7.2 Les modes de fixation

Une fois sur la surface du thalle, les éléments qui ne sont pas lessivés avec les prochaines précipitations sont incorporés. On énumère les modes de fixation dans les tissus fongiques des lichens [62]:

- * La structure en réseau de nombreux lichens permet un piégeage des particules les plus grossières dans l'espace intercellulaire. A titre d'exemple, *Xanthoria parietina* a 20% d'espace libre.
- * Les parois cellulaires ont des récepteurs anioniques leur permettant de fixer les métaux lorsqu'ils sont présents sous forme de cations.
- * Une incorporation intracellulaire existe, régulée par des processus physiologiques complexes.

Dans leur travail, plusieurs auteurs ont mis au point des méthodes d'extraction par étapes, permettant de déterminer la proportion des métaux présents sous forme particulaire, liés à des sites membranaires ou localisés à l'intérieur des cellules.

Dans son travail de revue de la bioaccumulation des métaux lourds dans les lichens, J.Garty évoque ces processus plus en détail [63]:

7.2.1 La fixation extracellulaire

Les lichens, fonctionnant comme des échangeurs d'ions ou des chélateurs ont, à la surface du thalle, une charge négative nette.

L'absorption de métaux serait rapide, réversible et dépendante du pH comme de la concentration du métal dans la solution. Ils absorbent les ions métalliques de l'eau de pluie et relarguent des ions H^+ ou d'autres ions métalliques, ayant une capacité de fixation moindre.

Il cite plusieurs études se penchant sur les sites extracellulaires de fixation de cations, ainsi des groupes carboxyle sont impliqués dans la complexation du plomb dans les parois hyphales de *Xanthoria parietina* [25].

La chitine, présente dans ces parois, est également évoquée comme fixateur de métaux.

7.2.2 L'absorption intracellulaire

C'est un processus lent, avec une accumulation dans le temps, plusieurs auteurs ont étudié le cadmium [63].

Son incorporation intracellulaire suit le même chemin de transport que le magnésium. L'absorption de Cd semble, de plus, stimulée par la lumière, ce qui fait penser à un lien entre métabolisme et incorporation du métal.

La concentration totale d'un élément dans un lichen n'est donc pas, à elle seule, suffisante pour quantifier de façon précise l'impact d'une source d'émission. Il est, en principe, nécessaire de connaître la forme physique et chimique de cet élément lors de l'émission dans l'atmosphère d'une part et dans le lichen d'autre part, ce qui n'est pas toujours possible, souvent même illusoire.

Il est alors envisageable d'adopter une autre approche, les écarts entre les concentrations de certains éléments, dans les lichens prélevés à proximité de sites contaminés et les lichens provenant de sites témoins, sont souvent tels qu'il est possible d'établir des corrélations sans trop de doutes.

Le tableau N° 5 représente les écarts de concentrations d'éléments traces dans les lichens en fonction de diverses activités industrielles [24].

TABLEAU 5: ORDRE DE GRANDEUR DE LA CONCENTRATION EN ELEMENTS-TRACES DANS LES LICHENS EN RELATION AVEC LES ACTIVITES HUMAINES

Rapport Maxi/fond	Elements	Source connue expliquant la présence de ces éléments dans les lichens
10 - 100	Ag	Industrie photographique, développement de films
	As	Zones industrielles
	Cd	Recyclage de batteries, composants électriques
	Cu	Vignes
	Mn	Activités industrielles en général, combustion du charbon
	Sn	Soudures, composants électroniques
	Zn	Activités industrielles, transports
	V	Transport, produits pétroliers, fabrication de poêles
> 100	Co	Industries anciennes
	Cr	Aciers spéciaux
	Ni	Aciers spéciaux
	Pb	Recyclage de batteries, soudures de composants électroniques

CHAPITRE IV :
Analyse par activation
neutronique

Introduction

L'analyse par activation neutronique, symbolisée NAA (*Neutron Activation Analysis*), est une méthode d'analyse qualitative et quantitative de divers éléments. Elle a été mise en œuvre dans les années 50 et a été déclarée méthode de référence dans les années 60 à 70 pour le dosage d'éléments traces dans des analyses de milieux biologiques, les polluants industriels (ex. le Plomb) et également en criminologie [38].

En effet, étant une méthode multi-élémentaire, sélective, dotée d'une excellente sensibilité et non destructive, a grandement contribué à son utilisation pour la recherche d'élément trace et ultra-trace. Combinée à la spectrométrie gamma (γ), elle a couvert une large gamme d'utilisation telle la géochimie, la médecine, la biosurveillance...etc. [39].

1. Les réactions nucléaires

Les réactions nucléaires sont des processus où les constituants de la matière (noyaux, nucléons...etc.) interagissent selon une réaction nucléaire forte ou faible. De grandes quantités d'énergies sont émises lors de ces réactions, beaucoup plus que celles émises par des réactions chimiques normales [40].

L'énergie minimale pour provoquer une réaction nucléaire est connue comme énergie de seuil. Pour des réactions exothermiques avec des neutrons, le seuil est de zéro.

La radioactivité résulte de désintégrations spontanées de noyaux atomiques instables. Ces noyaux sont dits radioactifs. Cette désintégration radioactive s'accompagne de l'émission de particules α , β^+ ou β^- ou désexcitation (γ) [40].

La réaction (n, γ) , par exemple, est une réaction qui se produit fréquemment avec des neutrons lents, dits neutrons thermiques, dans un réacteur nucléaire comme dans le cas de l'analyse par activation neutronique gamma prompte(PGNAA). Cependant, dans le cas de l'analyse par activation neutronique(NAA), la capture de neutrons produit une série de réactions retardées qui résulte en l'émission de rayons (γ), identifiés par spectroscopie gamma [41].

De façon générale, le noyau formé de la réaction (n, γ) est instable, se désintégrant par la suite, selon une ou plusieurs étapes, pour former un noyau stable.

En traitant les réactions nucléaires, il est communément convenu que les émissions (γ) sont le résultat de la réaction (n, γ) , mais ce n'est pas vrai. En effet, la réaction (n, γ) est utilisée pour la production de radio-isotope où les émissions (γ) sont le produit de la désintégration β^+ ou β^- durant les transitions pour former un noyau stable (Figure 14) [41]

En effet, une désintégration radioactive s'accompagne souvent d'un rayonnement électromagnétique de fréquence élevée : un noyau père X, instable, se désintègre en un noyau fils excité Y* qui retourne à son état fondamental Y par des émissions (γ). On parle de désexcitation (γ) : ${}^A_Z Y^* \rightarrow {}^A_Z Y + \gamma$ [42].

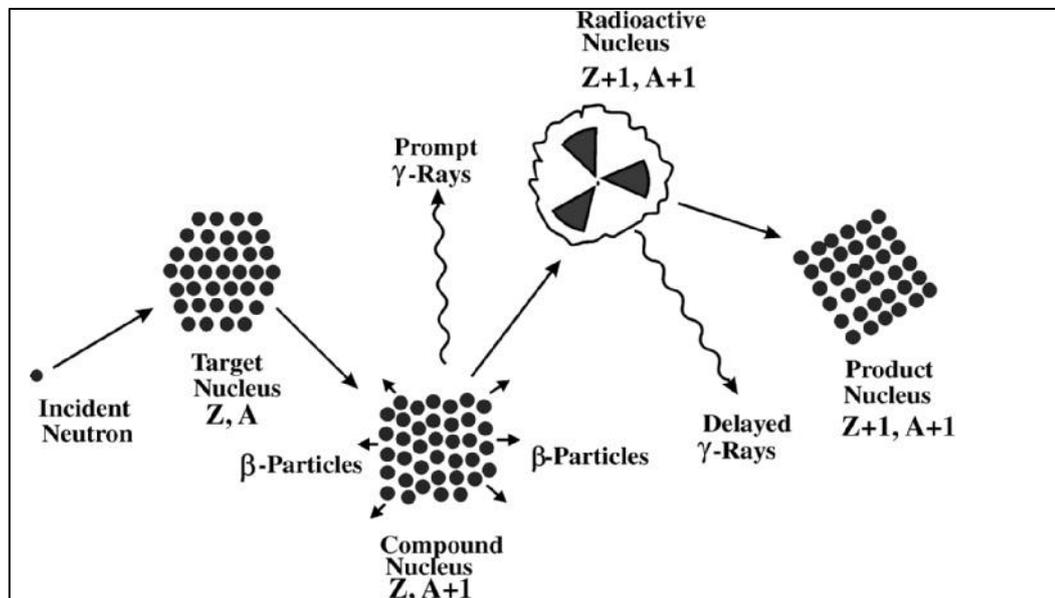


FIGURE 14: PRINCIPE DE LA TECHNIQUE DE L'ACTIVATION NEUTRONIQUE [41].

L'analyse par activation neutronique s'est considérablement développée ces dernières années, offrant une sensibilité inégalée pour un grand nombre d'éléments (jusqu'à 10^{-12} g). L'importance de cette méthode dérive de la nécessité d'analyser des échantillons trace ou ultra-trace des éléments d'importance environnementale. Une analyse typique effectuée au moyen de cette technique se compose de trois phases distinctes : activation, isolement et détermination quantitative [40].

1.1 Activation

La première phase consiste en un bombardement de neutron de l'isotope stable dans l'échantillon. Les neutrons interagissent sur le noyau père, formant un nouveau noyau dans un état excité par l'adhésion d'un neutron. Ainsi, le noyau formé, noyau fils, libère l'énergie en excès, conduisant à la formation d'une série de radio-isotopes jusqu'à la formation du noyau final à l'état stable [40].

1.2 Interaction Gamma-matière

La seconde phase du processus consiste en la dose d'énergie de chaque radio-isotope qui est à l'origine de l'émission de rayons gamma (γ). Leur détection est effectuée par une interaction photon-matière qui peut produire [40] :

- * Un effet photoélectrique.
- * Une diffusion Compton.
- * Production de paire.

1.2.1 Effet photoélectrique

Toute l'énergie du rayon gamma (γ) est transmise à un électron et cette énergie est approximativement égale à l'énergie du rayon gamma (γ).

1.2.2 Diffusion Compton

Ce phénomène se produit lorsque seulement une portion de l'énergie du rayon gamma est transmise à l'électron.

1.2.3 Production de paire

Un rayon gamma avec une grande énergie peut interagir avec le champ électrostatique du noyau et par conséquent la production d'une paire électron-positron.

Il faut noter qu'à de faibles énergies l'effet photoélectrique est prédominant; une énergie au environ de 1 000 KeV favorise l'effet Compton. Cependant, si l'énergie dépasse 1 022 KeV la production de paire peut apparaître.

1.3 Détermination quantitative et instrumentation

La spectrométrie gamma (γ) est effectuée à l'aide de détecteurs en cristal. Le fonctionnement de ces détecteurs est basé sur la mesure de l'énergie des rayons (γ) émis par l'échantillon. Le signal obtenu est proportionnel à l'énergie absorbée.

De nos jours, les détecteurs utilisés sont des semi-conducteurs Ge(Li) et (HPGe), Germanium de haute pureté [40].

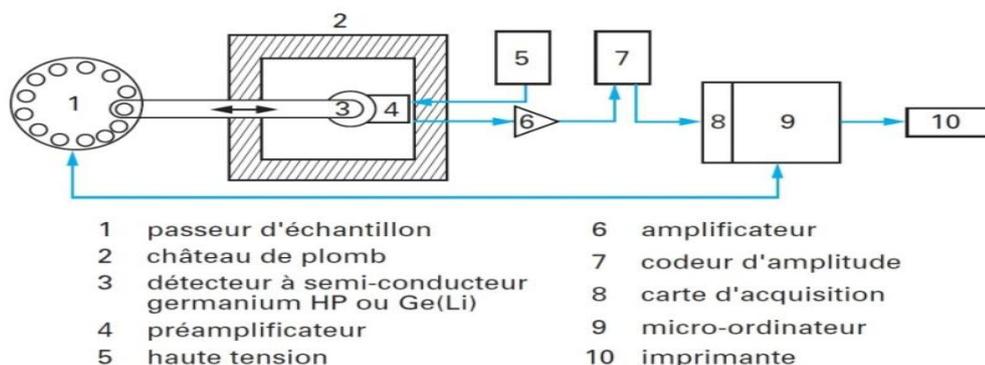


FIGURE 15: SCHEMA D'UNE INSTALLATION DE MESURE DE RAYONS γ UTILISEE EN ANALYSE PAR ACTIVATION [39].

Si une différence de potentiel est appliquée sur la face du détecteur, les charges de polarité différentes migrent vers les électrodes respectives. Cette migration est proportionnelle à l'énergie libérée par le rayonnement incident. Le spectre (Figure 16) est obtenu par un analyseur multicanal [40].

Les caractéristiques d'un détecteur sont [40] :

- * La résolution : c'est la largeur de la crête à la moitié de sa hauteur exprimé en KeV (ex. pour le Co-60 il est mesuré à 1332,5 KeV pour des détecteurs coaxiaux de HPGe).
- * L'efficacité : représentée par ϵ , elle exprime l'efficacité du système de comptage du détecteur.

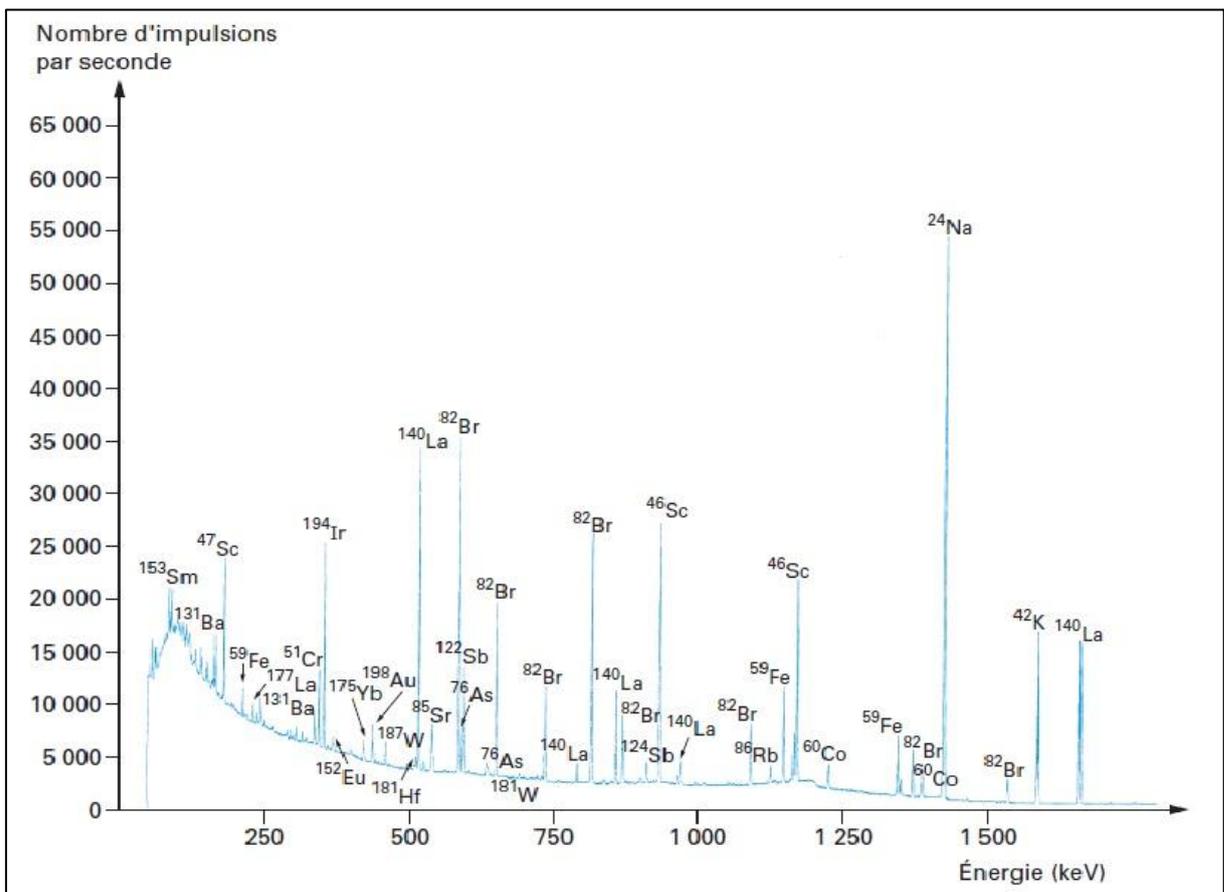


FIGURE 16: SPECTRE D'UN ECHANTILLON DE LICHEN IRRADIÉ 17 HEURES AUX NEUTRONS MESURE DE 5 HEURES FAITE 5 JOURS APRES LA FIN DE L'IRRADIATION [39].

2. Sources de neutrons

Elles se décomposent en deux [39] :

2.1 Les sources isotopiques

Elles apportent un moyen d'irradiation autonome et relativement moins coûteux, par contre les volumes et les flux sont beaucoup plus faibles :

- * Un flux de 10^8 à 10^9 n /cm².s.
- * Une source (α , n) d'activité $3,7 \cdot 10^{11}$ Bq.

Les neutrons émis ont une énergie de quelques MeV et par conséquent, doivent être thermalisés.

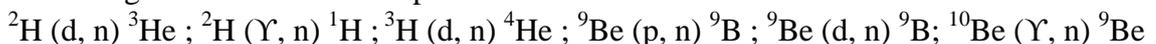
2.1.1 Les principales sources isotopiques sont actuellement

- * Le Californium ²⁵²Cf (T=2.6 ans).
- * Mélange de radionucléides naturels avec du Béryllium : ²³⁹Pu (T=2,4.10⁴ ans), ²⁴¹Am (T=458 ans).

Ce type de sources est fortement utilisé dans le milieu industriel pour des dosages rapides et de série pour certains éléments par NAA.

2.1.2 Les accélérateurs

Ils génèrent des neutrons par différentes réactions nucléaires :



- * Le flux utilisé est de l'ordre de $3 \cdot 10^5$ à $3 \cdot 10^8$ n /cm².s.
- * Le coût de fonctionnement est parfois élevé, par contre les accélérateurs de particules (Deutons) de quelques centaines de KeV constituent des générateurs de neutrons relativement économiques.

3. Théorie de l'analyse par activation

3.1 Les principes généraux

Le but de l'irradiation est de créer des radio-isotopes qui pourront, par la suite, être identifiés avec certitude et quantifiés avec précision. Pour se faire, la probabilité de la production des radio-isotopes doit être non négligeable et leur durée de vie suffisamment longue pour pouvoir les détecter [43]. Cependant, le choix du mode d'irradiation, pour le dosage de la totalité des éléments, doit être fait en fonction des propriétés des radio-isotopes créés et des éléments à doser [39].

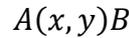
Le tableau N° 6 indique les différentes méthodes d'analyses par activation :

TABLEAU 6: TABLEAU REPRESENTANT DIFFERENTS TYPES D'ANALYSES PAR ACTIVATION [39].

Méthodes d'analyse par activation			
Particules incidentes	Réactions nucléaires produites	Sources d'irradiation	Domaines d'application
Neutrons thermiques	(n, γ)	Réacteurs nucléaires	Dosages très sensibles, 10^{-13} à 10^{-9} g, de très nombreux éléments à partir de $Z > 11$. Analyse d'ultra-traces et analyses multi-élémentaires. Possibilité d'irradier plusieurs échantillons simultanément.
Neutrons rapides	(n, p) (n, α) (n, 2n) etc.	Accélérateurs de neutrons Sources radioactives Réacteurs nucléaires (irradiation sous Cd)	Analyse multi-élémentaire de certains échantillons naturels. Dosage de contrôle sur sites ou en milieu industriel. Sensibilité en général moindre qu'avec les neutrons thermiques, à intensité de flux égale.
Photons gamma	(γ , n)	Accélérateurs d'électrons (accélérateurs linéaires, microtrons...)	Dosage des éléments légers : N, C, O, F, avec peu de risques d'interférences et de certains éléments lourds non dosables aux neutrons (ex : Pb). Sensibilité : 10^{-8} à 10^{-5} g.
Particules chargées (p, d, t, ^3He , ^4He ...)	(p, x) (d, y) (He, z) etc.	Van de Graaff Accélérateurs linéaires, Cyclotrons...	Dosage des éléments légers (Li, Be, B, C, N, O, F, S). Nombreux risques d'interférences, pénétration limitée des particules dans la matière. Analyse multi-élémentaire possible aux protons par exemple. Sensibilité : 10^{-9} - 10^{-10} g.

3.2 La radioactivité

Une réaction nucléaire peut s'écrire sous une forme d'une réaction chimique normale, mais le plus souvent elle est écrite sous la forme [39] :



A : isotope stable de l'atome cible de l'élément à doser.

B : radio-isotope produit par irradiation.

X : particule incidente.

Y : rayonnement émis pendant ou après l'irradiation.

3.2.1 Équation de l'activité

Le nombre d'atome formé (d_B^F) par unité de temps (dt) est proportionnel au nombre d'atomes cible (N_0), de la probabilité de la réaction (σ_{AB}) et le débit de particules incidentes (Φ_{AB}) on obtient [39]:

$$d_B^F = N_0 \sigma_{AB} \Phi_{AB} dt \quad (1)$$

d_B^F : Nombre d'atome formé.

N_0 : Nombre d'atome cible.

σ_{AB} : Section efficace (probabilité d'incidence en barns¹⁰).

Φ_{AB} : Flux ou débit de particules incidentes (neutrons.cm⁻².s⁻¹).

dt : Intervalle de temps d'irradiation.

Le nombre d'atome détruit pendant le même temps (dt) :

$$d_B^D = N_B \lambda dt \quad (2)$$

d_B^D : Nombre d'atome de B détruit.

N_B : Nombre d'atome de B présent à l'instant «t».

λ : Constante de désintégration ($\lambda = \ln 2/T$).

T : Temps de décroissance radioactive.

Le nombre d'atome effectivement présents par unité de temps :

$$d_B^F - d_B^D = N_0 \Phi_{AB} \sigma_{AB} dt - N_B \lambda dt \quad (3)$$

Soit :

$$\frac{dN_B}{dt} + N_B \lambda = N_0 \Phi_{AB} \sigma_{AB} \quad (4)$$

¹⁰ 1 barns = 10⁻²⁴ cm²

Par l'intégration de cette relation, le nombre d'atome radioactif (N^*) à la fin de l'irradiation peut être obtenu :

$$N^* = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \sigma_{AB} \Phi_{AB} N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

N^* : Le nombre de noyau radioactif.

L'activité A , définit comme étant une désintégration par seconde s'écrit :

$$A = N^* \lambda \quad (6)$$

L'équation (5) devient :

$$A = \sigma_{AB} \Phi_{AB} N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (7)$$

En remplaçant N_0 par la relation :

$$N_0 = \frac{m N_A I}{M} \quad (8)$$

N_A : Nombre d'Avogadro ($N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ atomes/mole)

m : Le masse de l'élément recherché (grammes).

I : L'abondance isotopique de l'élément (en %).

M : La masse atomique de l'isotope irradié (grammes).

La relation (7) devient :

$$A = \left(\frac{1}{M}\right) m \sigma_{AB} \Phi_{AB} N_A I (1 - e^{-\lambda t}) \quad (9)$$

La sensibilité de la mesure dépend essentiellement de σ , Φ , λ et t . Pour augmenter la sensibilité le flux doit être élevé et le temps d'irradiation assez long. Dans le meilleur des cas, il est aussi préférable que σ et I soient grands.

Dans le cas où il s'est écoulé un temps t_d depuis la fin de l'irradiation l'équation de l'activité devient :

$$A = \left(\frac{1}{M}\right) m \sigma_{AB} \Phi_{AB} N_A I (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} \quad (10)$$

t_i : Le temps d'irradiation de l'échantillon (seconde).

t_d : Le temps de désactivation (seconde)

Pour le calcul de la teneur de l'élément recherché, trois méthodes sont utilisées :

3.2.1.1 La méthode absolue

Elle consiste à établir une relation entre l'activité et la masse de l'élément dans un échantillon.

Si σ_{AB} est exprimée en barns ($1\text{barns} = 10^{-24} \text{ cm}^2$) [44]:

$$A = 0,6 \left(\frac{1}{M}\right) m \sigma_{AB} \Phi_{AB} I (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} \quad (11)$$

En pratique, cette méthode est peu utilisée à cause de l'imprécision de la connaissance de la fluctuation du flux Φ dans l'espace et dans le temps.

3.2.1.2 La méthode relative

Cette méthode est utilisée lorsque l'échantillon et l'étalon sont irradiés en même temps. De ce fait, l'activité de l'étalon est [44]:

$$A_R = 0,6 \left(\frac{1}{M}\right) m_R \sigma \Phi I (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_{dR}} \quad (12)$$

m_R étant connue.

L'activité de l'échantillon est :

$$A_E = 0,6 \left(\frac{1}{M}\right) m_E \sigma \Phi I (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_{dE}} \quad (13)$$

Finalement, la masse de l'échantillon est [44]:

$$m_E = (A_E m_R / A_R) e^{\lambda(t_{dE} - t_{dR})} \quad (14)$$

La relation entre le taux de comptage C et l'activité A [44]:

$$A = \varepsilon C \quad (15)$$

ε : L'efficacité de comptage.

L'équation (13) devient [44] :

$$m_E = (C_E m_R / C_R) e^{\lambda(t_{dE} - t_{dR})} \quad (16)$$

4. Avantages de la NAA

L'analyse par activation neutronique couvre une large gamme d'analyse des éléments sans se soucier de l'aspect physique ou chimique de l'échantillon ce qui lui procure les avantages suivant [41] :

- * Les échantillons peuvent être liquides, solides, en suspensions, boues ou gaz. Ils n'ont pas besoin d'être mis en solution ou vaporisés.
- * Un des avantages les plus importants, est que la matrice utilisée en NAA n'interfère pas dans l'analyse concernant le milieu biologique, car elle est composée de H, C, O, N, P et Si qui ne forme pas de radio-isotopes. Ce qui lui confère une haute sensibilité.
- * La NAA est non destructive. L'échantillon est directement analysé sans ajout de réactifs ce qui permet d'un côté de récupérer l'échantillon par la suite mais aussi éviter la contamination de ce dernier lors de la manipulation.
- * La NAA requière une faible quantité de l'échantillon (100-200 mg).
- * La NAA étant principalement une technique d'analyse instrumentale et avec son approche analytique, elle réduit le temps de contact du technicien avec l'échantillon ce qui la rend efficace et à prix réduit.
- * C'est une technique multi-élémentaire. Elle permet une analyse simultanée de plusieurs éléments dans un même échantillon sans avoir à changer d'appareil.
- * C'est une technique rapide telle qu'elle permet d'irradier plusieurs échantillons simultanément afin d'analyser plusieurs éléments dans chacun d'eux.
- * Très haute sensibilité pour les éléments traces métalliques. Cela dépend du flux de neutron, de la section efficace des éléments recherchés, du temps d'irradiation, la composition de la matrice et la résolution du détecteur. A des conditions optimales, la NAA atteint ses limites théoriques pour les éléments traces.

5. Limites de la NAA

- * Des éléments produisant des rayons gamma (γ) avec des énergies proches peuvent créer une interférence. Cependant, ce problème est usuellement contourner par le choix d'une autre énergie d'émission pour l'un des éléments ou, en attendant que l'activité de l'élément qui a la durée de vie la plus petite disparaisse.
- * La limite de détection d'un élément peut décroître lorsque le ratio de l'activité est augmenté. Réciproquement, changer l'efficacité du détecteur, le temps d'irradiation et le temps de décroissance de la radioactivité engendre l'obtention des résultats très faibles et par conséquent la limite de détection diminue.
- * La limitation la plus importante est que la NAA prend beaucoup pour une analyse complète. Cela est dû au fait que la durée de vie des éléments n'est pas la même et elle est divisée en trois catégories [41]:
 - ❖ Courte période : de quelques secondes à quelques heures.
 - ❖ Moyenne période : de quelques heures à quelques jours.
 - ❖ Longue période : à partir de quelques jours jusqu'à plusieurs années.

Pour analyser un élément de longue durée de vie, il faut attendre quelques semaines pour que l'activité des éléments courte et moyenne durée de vie soit nulle pour avoir une meilleure détection.

- * Le Pb, Cu, Al, P et S sont caractérisés d'une très courte durée de vie et une faible section efficace rend leur détection par la NAA difficile, raison pour laquelle la fluorescence à rayon X (XRF) est avantagée à la NAA [41].

CHAPITRE V :

LES ZONES D'ÉTUDE

Présentation des zones d'études

Notre étude a touché trois communes de la wilaya d'Alger : la commune de Reghaia au Nord-est, Baraki au Sud d'Alger et Draria au Nord-Ouest.

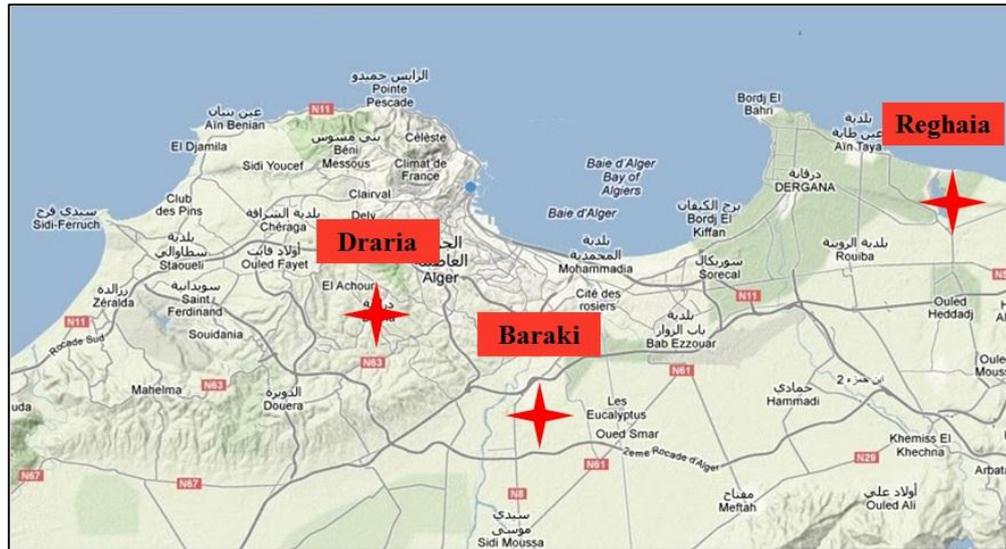


FIGURE 17: CARTE DE LA BAIE D'ALGER INDICANT LES SITES DE PRELEVEMENT DES LICHENS.

1. Le lac de Reghaia

1.1 Présentation de la zone

Le lac de Reghaia est une zone côtière humide ; située à la limite Nord-est de la plaine de la Mitidja à 29 Km d'Alger.

- * La superficie du lac est de 150 ha, le plan d'eau libre occupe environ 75 ha.
- * Coordonnées géographiques : 3° 19' et 3° 21' Est, 36° 45' et 36° 48' Nord.

Depuis 2002, le lac de Reghaia est inscrit sur la liste des zones humides d'importance internationale par la convention RAMSAR sur une superficie globale de 1100 hectares qui englobe le marais et une partie maritime jusqu'à l'île Agueli (Hadjrat Bountah) [45].

1.2 Le climat

La moyenne minima du mois le plus froid est de 11.1 °C en février ; la moyenne maxima du mois le plus chaud est 26.2 °C en juillet. Le mois de novembre représente le mois le plus pluvieux avec un cumul de 226.8 mm et le mois de juillet le plus sec avec 1mm. Le vent est d'habitude faible et modéré. Sa direction dominante est de Nord-Ouest, sa vitesse maximale moyenne est de 22.16 m/s.

1.3 Facteur de dégradation du site

Malheureusement, ce fabuleux site constitue aujourd'hui le réceptacle final des eaux usées urbaines et industrielles non traitées, cette source de pollution est liée à l'aspect hydrographique du site. Mise à part les apports du ruissellement des eaux des nappes, le lac de Reghaia est alimenté en grande partie par l'oued Reghaia qui charrie une quantité importante des eaux usées des agglomérations Est de la commune de Reghaia en plus des rejets de la station d'épuration qui se trouve en amont du lac, et qui reçoit quotidiennement 20000 m³/j des eaux de la zone industrielle Rouïba-Reghaia.

Le maquis du côté ouest du lac est devenu depuis ces dernières années un lieu de décharge de gravats et d'ordures ménagères qui donne un aspect très sale au site [45].

2. Zone de sidi R'cine

2.1 Présentation de la zone

Sidi R'cine commune de Baraki, se situe sur la plaine de la Mitidja, au sud d'Alger à cinq kilomètres de la Baie et à deux kilomètres du centre d'El-Harrach.

- * La superficie de la commune est de 105 74 km²
- * Coordonnées géographiques : 36° 39' et 36° 58' Nord, 3° 05' et 3° 30' Est.

2.2 Climat

La moyenne minima du mois le plus froid est de 10.4 °C en février ; la moyenne maxima du moi le plus chaud est de 27.4 °C en aout. Le mois de novembre représente le mois le plus pluvieux soit 197.4 mm et le mois d'octobre le plus sec avec aucune précipitation. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 1.5 m/s avec un maxima annuel de 18.16 m / s.

2.3 Facteur de dégradation de la zone

La vulnérabilité de la zone face à la pollution est d'autant plus grande que la dynamique urbaine et industrielle est importante:

- * En effet, les deux chemins de wilaya (CW14 et CW115) qui assurent toutes les relations intercommunales et régionales, la nouvelle voie rapide raccordant Baraki à Blida ainsi que le projet national d'autoroute Est-Ouest qui passe par la commune.
- * S'étalant sur une superficie de 186 hectares, la raffinerie d'Alger est implantée dans la zone, à 20 Km à l'Est d'Alger. Elle est mitoyenne avec le centre de stockage et d'enfûtage des GPL : NAFTAL au nord et du parc de stockage de la SONATRACH. TRC au sud se situant dans la commune limitrophe des Eucalyptus [46].

3. Zone de Draria

3.1 Présentation de la zone

Draria est située dans la proche banlieue Sud - Ouest d'Alger à environ 10 Km du centre d'Alger.

- * La superficie de la commune est de 17 043 km².
- * Coordonnées géographiques : 36° 42' et 36° 58' Nord, 2° 59' et 2° 50' Est

3.2 Facteur de dégradation de la zone

- * Une dynamique urbaine due aux relations intercommunales et régionales.

**CHAPITRE VI :
ÉCHANTILLONNAGE ET
ANALYSES**

1. Échantillonnage

Les zones de prélèvement, sur chaque site, ont été choisies de manière à obtenir un échantillonnage représentatif de la pollution du site. Les critères de choix sont comme suit :

- * Une même espèce de lichens, se basant sur l'aspect morphologique.
- * une possibilité de récolte suffisamment abondante de l'espèce lichénique.
- * La récolte de 10 échantillons sur 10 arbres différents, espacés de quelques mètres, a été faite au niveau de chaque zone afin d'établir une moyenne de concentration en polluants pour chaque site.

L'identification de l'espèce prélevée, au niveau des trois sites, a été faite par un spécialiste en lichénologie à l'université de TIZI OUZZOU, Mme Mansouri, comme étant : Lichen épiphyte foliacé *XANTORIA PARIETINA*.

1.1 Matériels et produits

- * Bistouri stérilisé.
- * Boîtes de pétri.
- * Pincés.
- * Eau distillée.
- * Mortier.
- * Étuve.
- * Des gants
- * Aluminium.
- * Solution d'acétone
- * Balance numérique.
- * Tamis

1.2 Mode de prélèvement

Les précipitations abondantes pendant la période de prélèvement ont contribué à l'humidification des lichens, ce qui a rendu leur dissociation relativement facile.

- * Le prélèvement a été fait sur des troncs d'arbres verticaux à hauteur d'homme (entre 1 et 2 mètres).
- * Les lichens, après avoir été détachés des troncs d'arbres, ont été directement injectés dans les boîtes de Pétri.
- * Ces dernières ont été fermement scellées, datées et identifiées grâce à un numéro de récolte et le lieu de l'échantillonnage.

1.3 Préparation des échantillons

Le traitement des échantillons a suivi les étapes citées ci-dessous :

- * Nettoyage à sec pour éliminer les débris d'écorce.
- * Lavage à l'eau distillée afin d'éliminer les particules de poussières déposées sur la surface des lichens (n'excédant pas deux minutes).
- * Séchage à température ambiante pendant sept (07) jours.
- * Broyage manuel à l'aide d'un mortier.
- * Tamisage et conservation dans des boîtes de pétri.

1.4 Conditionnement

Le conditionnement se fait dans des enveloppes en aluminium avant l'envoi à l'irradiation.

- * Des rectangles de dimensions (3x2,5 cm) ont été découpés, nettoyés avec de l'acétone, laissés à sécher et mises sous forme d'enveloppes.
- * Chaque enveloppe est pesée à vide, remplie avec environ 100 mg de poudre de lichens.
- * Pour chaque échantillon, un triplicata d'enveloppes est réalisé, lesquelles à leur tour sont repesés puis numérotés.
- * Une fiche de pesée est établie.

1.5 Le réacteur nucléaire NUR de Draria

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

Le réacteur nucléaire est un dispositif de contrôle des réactions en chaîne, il est de très loin la meilleure source de neutrons avec un flux allant jusqu'à 10^{14} n/cm².s. Un réacteur nucléaire peut produire un faisceau de neutrons très intense avec différentes types d'énergie (thermique, épithermique, rapide).

Le Réacteur NUR est un réacteur de recherche ouvert de type piscine. Il est doté d'une grande flexibilité expérimentale et sa puissance nominale est de un 01 Mégawatt.

Le flux neutronique thermique de ce réacteur atteint une intensité de 10^{13} n / cm² .sec .

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

Les autres principaux constituants du réacteur nucléaire NUR sont :

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

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

- * Le système de convoyage pneumatique rapide est utilisé pour le transfert des échantillons de la salle de stockage (2.9) vers le canal H9 situé dans la cage central. Cette voie d'irradiation convient très bien pour l'exploitation des réactions à seuil avec

les neutrons rapides FNAA¹¹ ou les réactions de capture radiative avec les neutrons thermiques ENAA¹². Les niveaux de flux des neutrons rapides et épithermiques y sont relativement élevés comparativement aux sites situés à la périphérie du cœur.

- * Le système de convoyage pneumatique rapide est utilisé pour le transfert des échantillons de la salle de stockage (2.10) vers la colonne thermique. Ce site situé à la périphérie du cœur présente un rapport flux thermique sur flux rapide très élevé minimisant ainsi les réactions d'interférences dues aux neutrons rapides.

Pour les irradiations de longue durée, la capsule est introduite dans le réacteur manuellement. Il existe deux sites d'irradiation qui sont appelés boîtes d'irradiation BI₁ et BI₂. L'un est situé au centre de la grille (E7) et le second à la périphérie de la grille (H7).

La figure 18 montre la position des sites d'irradiation, en vert, du réacteur NUR utilisés par l'analyse par activation neutronique selon la configuration en H des combustibles (nouvelles configuration).

A	B	C	D	E	F	G	H	
			G		G		CF2	10
		G		G		G	P	9
	G		C2		C3		G	8
	N	G		BI ₁		G	BI ₂	7
	G		C1		C4		G	6
		G		G		G	CF3	5
			G	BAE	BF	BAE		4
		CF1						3
								2
								1

FIGURE 18: POSITION DES SITES D'IRRADIATION UTILISÉS POUR L'ANALYSE PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE SELON LA CONFIGURATION EN H DES COMBUSTIBLES.

- * BI₁ et BI₂ sont les boîtes d'irradiation
- * P est le site d'irradiation par voie pneumatique dans le cœur
- * G représente la position du réflecteur à graphite
- * Ci représente la position du combustible

¹¹ Fast Neutron Activation Analysis

¹² Epithermal Neutron Activation Analysis

1.6 Étalonnage de la chaîne de mesure

Une bonne mesure spectroscopique dépend de la calibration de la chaîne de mesure qui suit les étapes ci-dessous :

- * 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 correspondants. Nous avons utilisé comme source de calibration la source d'Eu-152 qui couvre toute la gamme d'énergie qui nous intéresse [0 ; 2000KeV].
- * L'étalonnage en efficacité : Pour une chaîne de spectroscopie, la connaissance de l'efficacité permet de retrouver l'activité d'une source radioactive ou, dans le cas de l'analyse par activation neutronique par voie absolue, de déterminer la concentration d'un élément dans l'échantillon ; en effet, lorsqu'il n'est pas possible d'appliquer la procédure relative en raison de l'absence du standard adapté au spécimen à doser, on applique la voie absolue qui nécessite la détermination de l'expression de l'efficacité. 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 fonction de l'énergie du photon gamma (γ) et de la distance source-détecteur.

2. Analyses

Les échantillons ont été rassemblés dans des capsules pour l'irradiation avec les standards correspondants (figure 19). Ces derniers servent comme références pour le calcul des concentrations en polluants.

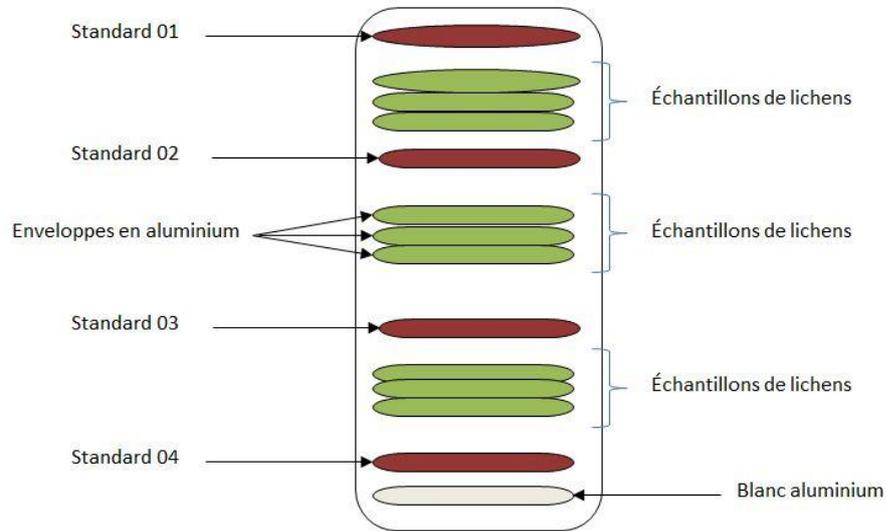


FIGURE 19: SCHEMA DE CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS DANS LA CAPSULE DESTINÉE A L'IRRADIATION.

Après l'irradiation, chaque échantillon a été analysé dans le spectromètre à rayon gamma pour une durée d'une heure et demie.

Les spectres, résultants de l'analyse, fournissent des données concernant :

- * Le comptage, appelé NET, qui représente la surface des pics de l'élément détecté.
- * L'énergie des pics émis.
- * Le période de décroissance radioactive.

Grace à des abaques indiquant l'énergie des éléments et d'autre la nature des réactions, on fait correspondre les énergies obtenus dans les spectres pour identifier les éléments.

CHAPITRE VII :

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. Calcul des concentrations

Une fois un élément déterminé, le NET et le temps de décroissance radioactive sont utilisés pour le calcul de sa concentration.

L'équation (16) de la méthode relative doit être adaptée pour le calcul comme suit :

$$m_E = (C_E m_R / C_R) e^{\lambda(t_{dE} - t_{dR})} \quad (16)$$

En multipliant cette équation par les facteurs $\frac{1}{M_E}$ et $\frac{1}{M_R}$ tels que M_E et M_R représentent respectivement la masse de l'échantillon et celle du standard, on aura :

$$C_{CE} = (C_E M_R C_{CR} / M_E C_R) e^{\lambda(t_{dE} - t_{dR})} \quad (17)$$

C_{CE} : Concentration du polluant tel que $C_{CE} = m_E / M_E$ en $\mu\text{g}/\text{gramme}$ de lichens.

C_{CR} : Concentration du polluant tel que $C_{CR} = m_R / M_R$ en $\mu\text{g}/\text{gramme}$ du standard.

Le facteur d'humidité «h» est introduit afin de calculer les concentrations par rapport au poids sec des échantillons.

Au final la formule de calcul de la concentration devient :

$$C_{CE} = C_{CR} \left(\frac{N_e(0)/(M_E \times h_E)}{N_r(0)/(M_R \times h_R)} \right) \quad (18)$$

Tel que :

- * $N_e(0) = C_E e^{\lambda(t_{dE} - t_i)}$; Nombre total d'atomes radioactifs d'un élément dans l'échantillon.
- * $N_r(0) = C_R e^{\lambda(t_{dR} - t_i)}$; Nombre total d'atomes radioactifs d'un élément dans le standard.

2.1 Résultats moyenne période

Le tableau N° 7 représente les éléments de moyenne période dont le temps de demi-vie varie entre quelques heures et quelques jours en $\mu\text{g/g}$:

TABLEAU 7: CONCENTRATIONS DES ELEMENTS DE MOYENNE DUREE DE DEMI-VIE RELATIVES AUX TROIS SITES POUR LES DIFFERENTS ECHANTILLONS.

	éléments	Nd	Sm	Lu	Yb	As	Sb	Br	Na	La
Draria	Lichens 01	Nd	1,7666±0,1385	Nd	Nd	Nd	Nd	49,7523±2,4996	607,1387±129,3178	8,3151±0,4999
	Lichens 02	Nd	1,4716±0,1154	Nd	Nd	Nd	Nd	32,6275±1,6488	682,7963±146,4256	6,7260±0,4072
	Lichens 03	Nd	1,9034±0,1493	Nd	Nd	Nd	Nd	41,1324±2,0884	744,0554±163,1208	10,5808±0,6385
	Lichens 04	Nd	0,9799±0,0770	Nd	Nd	Nd	Nd	23,4509±1,2086	524,8599±119,9341	5,8903±0,3572
	Lichens 05	Nd	1,1164±0,0877	Nd	Nd	Nd	Nd	28,0850±1,4424	486,1027±118,6897	6,7432±0,4098
	Lichens 06	Nd	2,8820±0,3643	Nd	Nd	0,0699±0,0245	1,5027±0,3873	28,8042±1,5079	237,2866±49,0417	15,5259±1,1598
	Lichens 07	Nd	2,2007±0,2783	Nd	Nd	0,0416±0,0168	0,9267±0,2391	37,5570±1,9770	235,1458±63,1352	11,8201±0,8875
	Lichens 08	Nd	2,0286±0,2566	Nd	Nd	0,0529±0,0213	0,8594±0,2218	39,0853±2,0910	284,7277±81,6209	11,5309±0,8680
	Lichens 09	Nd	2,7928±0,3532	Nd	Nd	0,0535±0,0251	1,1572±0,2984	46,8513±2,5219	445,8887±144,3267	15,9937±1,1994
	Lichens 10	Nd	1,9144±0,2425	Nd	Nd	0,0456±0,0211	2,7070±0,6976	50,8761±2,8156	1433,9598±330,4205	11,4635±0,8696
Sidi R'cine	Lichens 01	Nd	1,3568±0,1719	Nd	Nd	0,0488±0,0232	1,1133±0,2871	31,4074±1,8009	531,1120±182,5557	7,9620±0,6044
	Lichens 02	Nd	1,3298±0,1687	Nd	Nd	0,0244±0,0246	1,0775±0,2780	26,0521±1,6729	212,1601±39,3295	7,7767±0,5939
	Lichens 03	Nd	1,3723±0,1742	Nd	Nd	0,0878±0,0399	1,0860±0,2803	27,9396±1,8358	1220,7453±408,9146	8,1015±0,6214
Reghaia	Lichens 01	Nd	0,4099±0,0543	0,0345±0,0126	0,1093±0,0355	1,0694±0,1363	Nd	14,9433±1,9760	579,1594±72,6645	3,5982±0,5466
	Lichens 02	Nd	0,5540±0,0734	0,0443±0,0161	0,1630±0,0529	1,2657±0,1613	Nd	30,2457±4,0005	743,4960±93,3248	3,8524±0,5853
	Lichens 03	Nd	0,5242±0,0696	0,0464±0,0169	0,1434±0,0466	1,0338±0,1321	Nd	26,1896±3,4708	1185,4865±149,1724	4,0217±0,6119
	Lichens 04	Nd	0,3524±0,0471	0,0377±0,0137	0,1412±0,0459	0,8669±0,1117	Nd	30,6121±4,0870	1509,7914±191,4361	3,0956±0,4736
	Lichens 05	Nd	0,3443±0,0463	0,0314±0,0115	0,1039±0,0338	0,8739±0,1133	Nd	26,6434±3,5771	1464,2660±186,7047	4,0919±0,6290
	Lichens 06	2,6450±0,9593	0,4279±0,1040	0,0223±0,0093	0,1437±0,0551	1,0394±0,2498	0,4927±0,1211	24,2646±5,8941	1083,4087±259,1892	1,5092±0,3835
	Lichens 07	1,1721±0,4665	0,3436±0,1101	0,0192±0,0090	0,0970±0,0429	1,0221±0,3122	0,4844±0,1556	28,7950±9,2215	1088,3979±347,1933	1,2389±0,4065
	Lichens 08	3,2112±0,8706	0,6844±0,1190	0,0326±0,0292	0,1874±0,1461	1,5382±0,3283	0,7766±0,1896	51,9082±8,5384	1199,5414±285,1670	3,2504±0,8214
	Lichens 09	2,9433±1,0687	0,4811±0,1173	0,0203±0,0085	0,1440±0,0553	1,1795±0,2845	0,5352±0,1319	41,0875±10,0094	811,7876±194,4979	2,0116±0,5136
	Lichens 10	2,8167±1,0253	0,6329±0,1550	0,0285±0,0119	0,1801±0,0692	1,9159±0,4643	0,7727±0,1913	31,2840±7,6562	1066,7553±257,1691	2,8413±0,7271

La concentration moyenne de chaque élément par site est calculée à partir de la relation suivante :

$$C_X = \frac{\sum C_{e(i)}}{n} \quad (19)$$

C_X : Concentration moyenne de l'élément X.

$C_{e(i)}$: Concentration de l'élément dans la prise i.

n : Nombre de prise.

Le tableau N° 8 suivant indique les moyennes par site :

TABLEAU 8: CONCENTRATIONS DES ELEMENTS DE MOYENNE DUREE DE DEMI-VIE RELATIVES AUX TROIS SITES.

éléments	Nd	Sm	Lu	Yb	As	Sb	Br	Na	La
Draria	Nd	1,9056 ±0,2063	Nd	0,5506 ±0,0849	0,0527 ±0,0217	1,4306 ±0,3688	37,8222 ±1,9801	568,1962 ±134,6033	10,1918 ±0,7297
Sidi R'cine	Nd	1,3529 0,1716	Nd	Nd	0,0537 ±0,0292	1,0923 ±0,2818	28,4664 ±1,7699	654,6725 ±210,2666	7,9468 ±0,6066
Reghaia	2,5576 ±0,8781	0,4755 ±0,0896	0,0317±0,0139	0,1413 ±0,0583	1,1805 ±0,2294	0,6123 ±0,1579	30,5973 ±5,8431	1073,2090 ±203,6519	2,9511 ±0,5699

2.2 Graphes et discussions

2.2.1 Éléments de moyenne durée de demi-vie

Le Lutécium- Lu et le Néodyme- Nd:

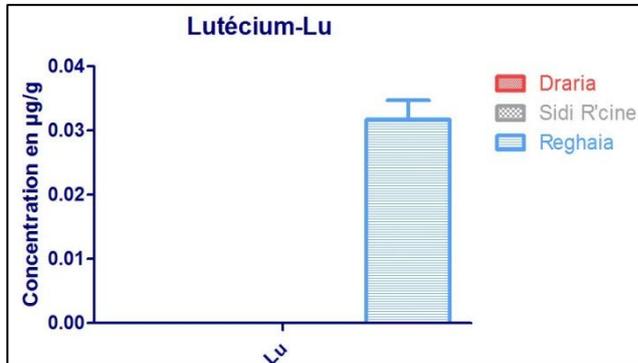


FIGURE 20 : CONCENTRATIONS DU LUTÉCIUM

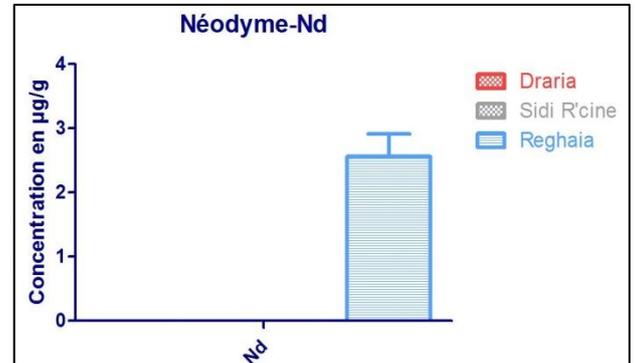


FIGURE 21 : CONCENTRATIONS DU NÉODYME.

La forte concentration en Néodyme et Lutécium dans la région de Reghaia peut être justifiée par le caractère industriel de cette zone. En effet, ces deux éléments sont liés à diverses activités industrielles et leurs déchets [47]:

- * L'industrie du verre et de la céramique : le néodyme permet une coloration particulière (violet) qui rentre dans la composition des pigments de couleurs.
- * L'industrie de l'imagerie et la radiographie : la capacité luminophore du néodyme et du lutécium à transformer le rayonnement X en lumière visible, a été mise à profit pour le développement de l'imagerie médicale [48].
- * L'industrie des matériaux magnétiques : l'alliage Néodyme-Fer-Bore rentre dans la composition des aimants hautes performances utilisé dans les secteurs de l'électroménager, la téléphonie et l'automobile.

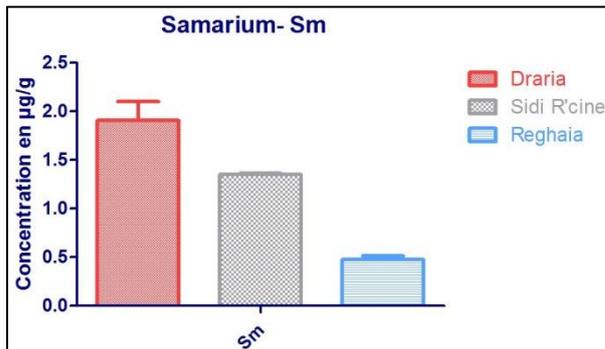
Samarium-Sm, Lanthane-La et Ytterbium-Yb :

FIGURE 22: CONCENTRATIONS DU SAMARIUM.

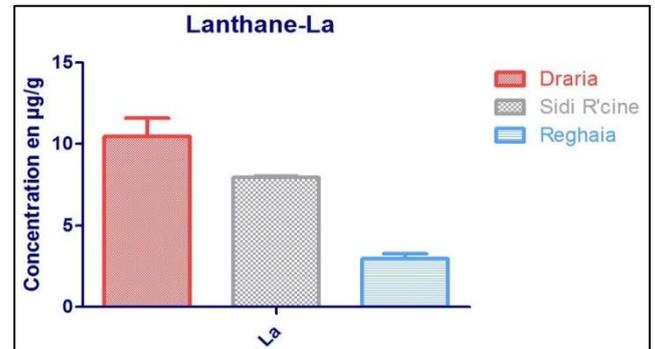


FIGURE 23: CONCENTRATIONS LANTHANE

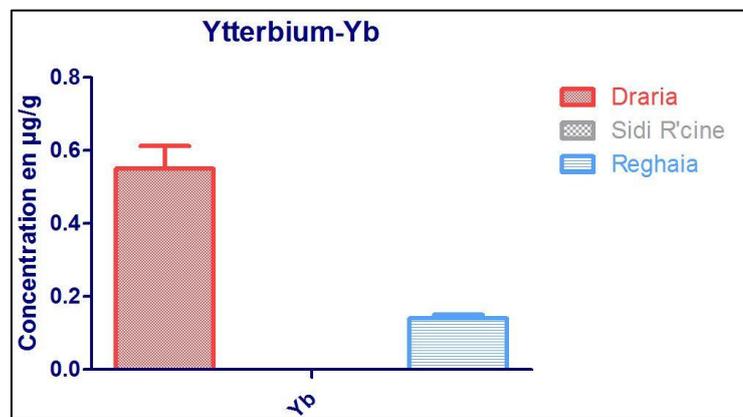


FIGURE 24: CONCENTRATION DE L'YTTERBIUM.

Ces trois éléments, en grande quantité à Draria, peuvent provenir des industries de céramique et de polissage situées dans la ville.

La présence de Samarium et de Lanthane à Sidi R'cine peut être expliquée par leur utilisation comme catalyseur pour le craquage du pétrole de la raffinerie [48].

Les faibles concentrations de ces éléments à Reghaia peuvent être attribuées aux facteurs climatiques qui participent à leur dispersion.

L'Arsenic-As :

La concentration en Arsenic à Reghaia est relativement élevée par rapport aux autres sites à cause de l'utilisation de cet élément dans [49]:

- * Les batteries électriques pour augmenter la résistance à la corrosion.
- * Les herbicides pour l'agriculture.
- * Dans les alliages avec le cuivre, le plomb, l'or pour augmenter leur dureté.
- * Agents décolorants dans l'industrie du verre.

L'Antimoine-Sb :

L'Antimoine entre dans la composition des alliages métalliques et ces oxydes (trioxydes d'antimoine) comme pigment de peinture qui reste un temps longtemps en suspension dans l'air.

La forte concentration à Draria peut s'expliquer par la présence de l'industrie de céramique pour la coloration de ses produits.

À Sidi R'cine, sa présence peut s'expliquer par l'usage du trichlorure d'antimoine ($SbCl_3$), ou protochlorure d'antimoine, dans l'industrie pétrolière [50].

Le Brome-Br :

La concentration en brome dans les trois zones est relativement du même ordre.

Sa présence est principalement due au trafic routier. En effet, le dibromoéthane ($C_2H_4Br_2$) est un additif utilisé dans le carburant pour éviter la formation de dépôt de plomb (Pb) dans les chambres de combustion et les systèmes d'échappement [51].

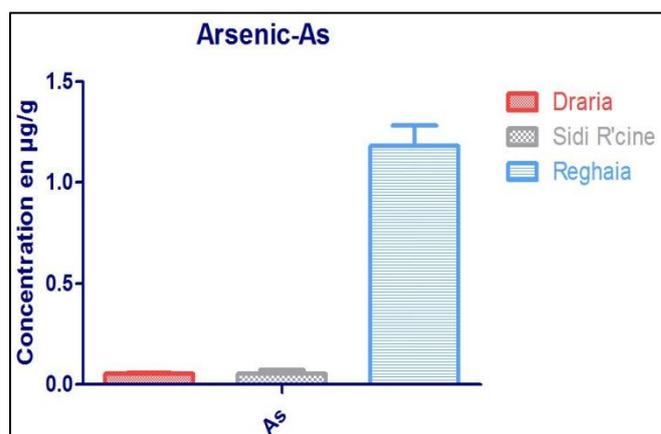


FIGURE 25 : CONCENTRATIONS DE L'ARSENIC.

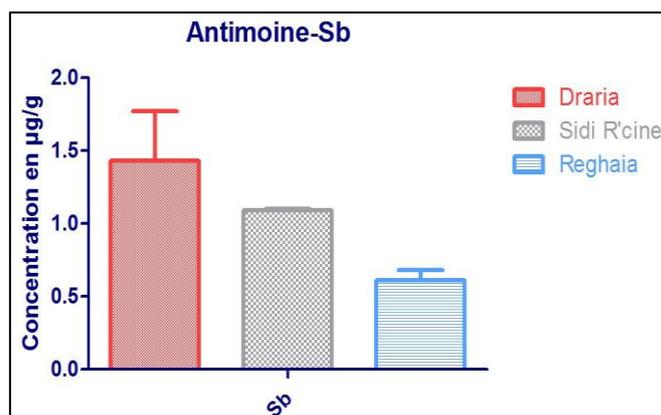


FIGURE 26 : CONCENTRATIONS DE L'ANTIMOINE.

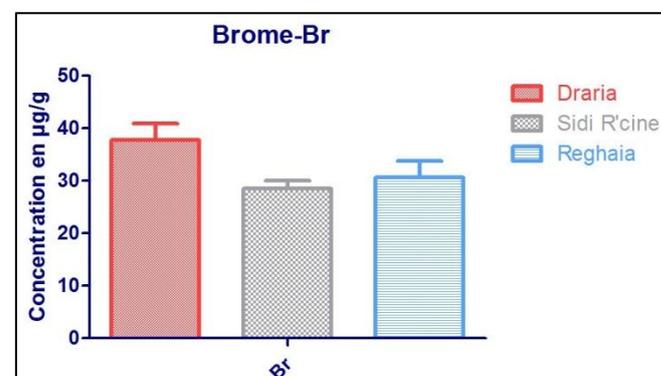


FIGURE 27 : CONCENTRATIONS DU BROME.

Le Sodium-Na :

La grande teneur en Sodium dans la zone de Reghaia peut être expliquée par l'utilisation de l'hypochlorite de Sodium (NaOCl) dans l'industrie de traitement des eaux usées pour réduire les odeurs car ce dernier neutralise le sulfure d'hydrogène (HS) et l'ammoniac (NH_3) [52].

A Sidi R'cine le Sodium peut provenir des opérations d'extraction des contaminants acides ou de l'utilisation d'hypochlorite de Sodium pour prévenir la croissance des algues dans les tours de refroidissement.

La teneur de cet élément à Draria, étant inférieure aux deux autres zones, peut être considérée comme une teneur naturelle.

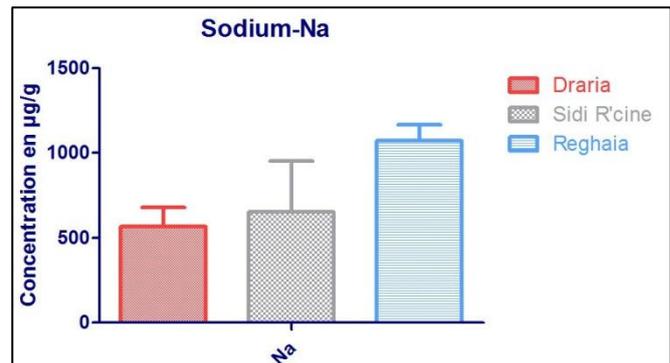


FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DU SODIUM.

2.3 Résultats longue période

Le tableau N° 9 représente les éléments de longue période dont le temps de demi-vie varie entre quelques jours jusqu'à plusieurs années en $\mu\text{g/g}$:

TABLEAU 9: TABLEAU REPRESENTANT LES CONCENTRATIONS DES ELEMENTS DE LONGUE DUREE DE VIE.

	éléments	sn	Ce	Ba	Se	Hg	Cr	Eu	Hf	Sr
Draria	Lichens 01	Nd	31,0673±4,2726	235,2368±18,2814	Nd	0,0352±0,0155	47,9838±8,1101	0,6884±0,1229	1,7402±0,3360	53,6163±6,6499
	Lichens 02	Nd	24,9690±3,4346	229,8855±18,4671	Nd	0,0378±0,0157	41,9565±7,0984	0,5683±0,1015	1,3001±0,2512	54,1654±6,5681
	Lichens 03	Nd	33,7238±4,6379	284,9664±22,0785	Nd	0,0300±0,0146	51,8066±8,7567	0,7427±0,1326	1,7527±0,3382	62,8101±7,7168
	Lichens 04	Nd	16,7212±2,3013	133,6342±11,3639	Nd	0,0220±0,0107	25,5499±4,3247	0,3682±0,0658	0,8582±0,1663	20,5838±4,5837
	Lichens 05	Nd	18,5041±2,5463	158,5070±13,9902	Nd	0,0270±0,0128	27,7317±4,6984	0,3147±0,0564	0,9007±0,1747	19,6988±4,5548
	Lichens 06	Nd	42,0369±3,8845	662,1255±171,2892	1,8924±0,4395	0,1516±0,0461	53,7409±4,7497	Nd	5,4707±0,5375	87,7819±6,1723
	Lichens 07	Nd	30,0838±2,7814	338,3770±89,2691	1,4104±0,3385	0,1574±0,0450	36,6421±3,2489	Nd	3,3348±0,3281	56,2286±5,3065
	Lichens 08	Nd	29,3432±2,7133	310,7692±82,2401	1,5574±0,3721	0,1316±0,0451	37,0593±3,2851	Nd	2,9920±0,2965	51,0029±5,2463
	Lichens 09	Nd	38,5213±3,5597	528,8286±138,1012	1,8186±0,4124	0,0502±0,0353	46,9847±4,1571	Nd	4,7873±0,4700	83,7863±5,8774
	Lichens 10	Nd	29,0213±2,6852	446,9735±117,4845	1,4190±0,4288	0,1425±0,0430	42,3184±3,7578	Nd	2,5803±0,2581	59,6507±6,3602
Sidi R'cine	Lichens 01	Nd	19,2583±1,7818	376,0588±99,5411	0,8021±0,2233	0,0689±0,0321	28,3004±2,5135	Nd	1,8564±0,1852	87,7079±5,1476
	Lichens 02	Nd	19,7137±1,8237	331,2860±89,5003	1,0964±0,2882	0,0639±0,0332	29,5454±2,6223	Nd	1,8611±0,1856	84,6344±5,1398
	Lichens 03	Nd	20,6986±1,8403	312,9457±91,3393	0,8733±0,2514	0,1314±0,0390	30,5002±2,6173	Nd	2,1839±0,1964	97,5802±5,2180
Reghaia	Lichens 01	0,1236±0,0431	5,5693±0,3613	2,4133±0,7664	0,5051±0,1136	0,1064±0,0404	7,1312±0,6537	0,1038±0,0074	Nd	3,6300±3,0411
	Lichens 02	0,2304±0,0806	7,6878±0,4964	3,3899±1,0883	0,3865±0,1219	0,1243±0,0503	9,5558±0,8722	0,1404±0,0099	Nd	13,4925±2,8716
	Lichens 03	0,2428±0,0844	7,4744±0,4825	2,7248±0,8905	0,4232±0,1165	0,0882±0,0392	9,6293±0,8760	0,1396±0,0098	Nd	14,4719±2,8803
	Lichens 04	0,1264±0,0446	5,2637±0,3417	2,1570±0,7267	0,3459±0,1209	0,1547±0,0403	6,4199±0,5925	0,0947±0,0067	Nd	Nd
	Lichens 05	0,1751±0,0766	4,9567±0,3576	1,4042±0,5844	0,3232±0,0977	0,1130±0,0411	6,2055±0,6169	0,0887±0,0069	Nd	11,4276±2,4783
	Lichens 06	0,0283±0,0034	5,5289±0,3313	2,9588±0,5675	0,3338±0,1007	0,1419±0,0472	6,7209±0,6280	0,1083±0,0081	Nd	9,4296±2,1165
	Lichens 07	0,0176±0,0020	4,3624±0,2653	2,9121±0,6222	0,3006±0,0938	0,1413±0,0550	5,3513±0,5128	0,0843±0,0065	Nd	10,6161±2,7655
	Lichens 08	0,0287±0,0024	9,1530±0,5439	5,6444±0,9428	0,4334±0,1159	0,2258±0,0631	8,0862±0,7843	0,1750±0,0129	Nd	18,5570±3,5595
	Lichens 09	0,0278±0,0025	6,0505±0,3866	3,5652±0,8839	0,3253±0,1070	0,1934±0,0564	7,3876±0,7325	0,1148±0,0093	Nd	12,3945±2,5084
	Lichens 10	0,0227±0,0038	8,0813±0,4750	3,9482±1,0167	0,3188±0,1085	0,2850±0,0620	10,1444±0,9243	0,1610±0,0117	Nd	13,2384±2,8674

Suite du tableau N° 9 :

	éléments	Sb	Cs	Tb	Sc	Rb	Fe	Zn	Co
Draria	Lichens 01	1,7655±0,1945	2,3783±0,1743	0,2401±0,0867	4,7260±0,5071	41,6316±2,6425	17911,3059±920,1243	125,3288±4,9120	5,5839±0,6639
	Lichens 02	1,5029±0,1657	1,9661±0,1444	0,1979±0,0713	3,8437±0,4125	36,3180±2,3764	14556,8418±748,3181	110,3852±4,3416	4,6269±0,5504
	Lichens 03	1,5455±0,1705	2,5963±0,1903	0,2530±0,0908	5,1739±0,5552	44,4111±2,8407	19384,9147±995,8269	124,8504±4,9008	6,0500±0,7193
	Lichens 04	0,8497±0,0941	1,3074±0,0964	0,1431±0,0517	2,5407±0,2727	23,3104±1,6584	9482,2788±488,3048	73,1299±2,9128	2,9344±0,3495
	Lichens 05	1,0407±0,1150	1,4549±0,1074	0,1482±0,0549	2,8290±0,3036	26,8720±1,9085	10570,8479±544,1815	82,7430±3,2778	3,2975±0,3925
	Lichens 06	2,9052±0,3581	3,2675±0,2821	Nd	6,6823±0,1258	52,6069±3,3299	22903,8649±878,5945	169,7620±5,0943	7,8826±0,3684
	Lichens 07	1,7399±0,2148	2,4546±0,2123	Nd	4,8931±0,0923	37,3415±2,5035	16201,8807±622,4641	123,6392±3,7528	5,6825±0,2665
	Lichens 08	1,6104±0,1990	2,6071±0,2254	Nd	5,1353±0,0969	41,2337±2,7822	16842,2675±647,1120	121,2565±3,6864	5,7501±0,2697
	Lichens 09	2,0722±0,2556	3,2312±0,2789	Nd	6,5892±0,1239	49,8479±3,2330	21650,9907±830,4607	150,0675±4,5022	7,5825±0,3541
	Lichens 10	5,1593±0,6357	2,9664±0,2564	Nd	5,1403±0,0972	53,9651±4,0632	18154,3422±698,1993	151,3248±4,5930	5,9048±0,2773
Sidi R'cine	Lichens 01	2,1654±0,2670	2,6237±0,2265	Nd	3,7927±0,0715	29,5035±2,0351	12160,4769±467,3583	140,4530±4,2211	4,2036±0,1972
	Lichens 02	2,1798±0,2688	2,6732±0,2308	Nd	3,8542±0,0727	29,6104±2,0906	12317,8608±473,4311	144,2695±4,3314	4,2515±0,1994
	Lichens 03	2,1591±0,2674	2,7101±0,2305	Nd	4,0496±0,0764	33,4757±2,4089	12947,9809±497,7957	148,3256±4,4600	4,4199±0,2074
Reghaia	Lichens 01	0,0269±0,0409	0,0366±0,0381	0,0659±0,0237	0,0720±0,0464	0,3903±1,4656	223,9469±148,5388	1,7313±2,6957	0,0545±0,0576
	Lichens 02	0,6840±0,0523	1,1481±0,0723	0,0766±0,0278	1,3143±0,0671	14,7290±2,2006	3909,2147±211,5119	51,9548±2,7613	1,3771±0,0819
	Lichens 03	0,7384±0,0562	0,7372±0,0468	0,0717±0,0260	1,2500±0,0638	11,4583±1,7588	3764,8544±203,6900	52,1564±2,7681	1,2966±0,0771
	Lichens 04	0,5751±0,0440	0,5170±0,0332	0,0522±0,0192	0,8888±0,0454	8,9205±1,3866	2680,2777±145,4439	46,6523±2,4799	0,9562±0,0574
	Lichens 05	0,5430±0,0456	0,4776±0,0331	0,0510±0,0209	0,8078±0,0454	9,2767±1,4936	2438,1572±146,0016	43,6046±2,4777	0,8445±0,0557
	Lichens 06	0,5964±0,0521	0,5427±0,0372	Nd	0,0929±0,0047	7,8833±1,3375	2921,3716±163,4633	43,4757±2,3433	0,9569±0,0599
	Lichens 07	0,6072±0,0532	0,4368±0,0304	Nd	0,0727±0,0037	8,7302±1,4707	2344,9001±131,8820	48,9176±2,6414	0,7679±0,0489
	Lichens 08	1,0083±0,0872	0,8729±0,0591	Nd	0,1529±0,0077	15,3732±2,5114	4825,6165±269,0366	67,6862±3,6103	1,6445±0,1014
	Lichens 09	0,5890±0,0578	0,5815±0,0433	Nd	0,1034±0,0055	12,1249±2,1106	3210,0353±192,6235	45,9094±2,5539	1,0958±0,0725
	Lichens 10	0,9713±0,0819	0,7833±0,0546	Nd	0,1418±0,0071	10,8792±1,8854	4448,0645±246,5379	59,0636±3,1659	1,5175±0,0934

Le tableau N° 10 représente les moyennes des éléments de longue durée de demi-vie pour chaque site :

TABLEAU 10: CONCENTRATIONS DES ELEMENTS DE LONGUE DUREE DE DEMI-VIE RELATIVES AUX TROIS SITES.

Éléments	Sn	Ce	Ba	Se	Hg	Cr	Eu	Hf	Sr
Draria	Nd	29,3992 ±3,2817	332,9304 ±68,2565	1,6196 ±0,3983	0,0785 ±0,0284	41,1774 ±5,2187	0,5365 ±0,0959	2,5717 ±0,3157	54,9325 ±5,9036
Sidi R'cine	Nd	19,8902 ±1,8152	340,0969 ±93,4602	0,9239 ±0,2543	0,0881 ±0,0348	29,4487 ±2,5844	Nd	1,9671 ±0,1891	89,9742 ±5,1685
Reghaia	0,1023 ±0,0343	6,4128 ±0,4042	3,1118 ±0,8089	0,3696 ±0,1096	0,1574 ±0,0495	7,6632 ±0,7193	0,1210 ±0,0089	Nd±	13,3243 ±2,7876

Suite du tableau N° 10 :

Éléments	Sb	Cs	Tb	Sc	Rb	Fe	Zn	Co
Draria	2,0191 ±0,2403	2,4230 ±0,1968	0,1965 ±0,0711	4,7554 ±0,2587	40,7538 ±2,7338	16765,9535 ±737,3586	123,2487 ±4,1974	5,5295 ±0,4212
Sidi R'cine	2,1681 ±0,2677	2,6690 ±0,2293	Nd	3,8989 ±0,0735	30,8632 ±2,1782	12475,4395 ±479,5284	144,3494 ±4,3375	4,2916 ±0,2013
Reghaia	0,6846 ±0,0571	0,6692 ±0,0448	0,0635 ±0,0235	0,5733 ±0,0297	10,8949 ±1,7621	3327,9238 ±185,8730	50,9653 ±2,7497	1,1414 ±0,0706

2.4 Graphes et discussions

2.4.1 Éléments de longue durée de demi-vie

Le Cérium-Ce; le Terbium-Tb; le Scandium-Sc; l'Europium :

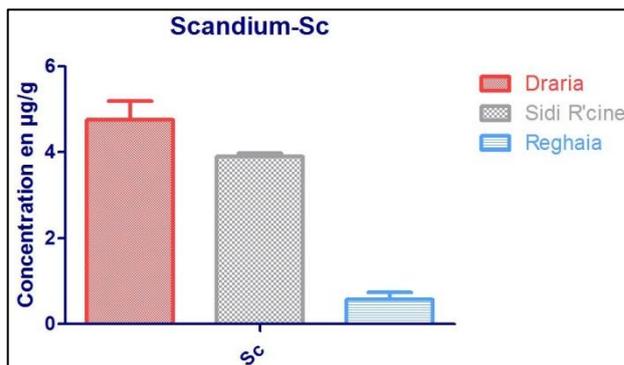


FIGURE 29: CONCENTRATIONS DU SCANDIUM.

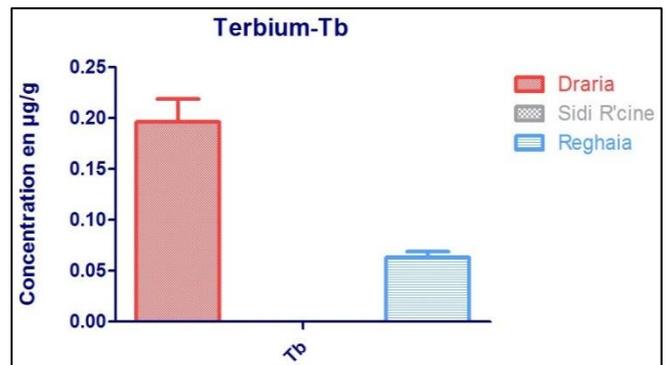


FIGURE 30: CONCENTRATIONS DU TERBIUM.

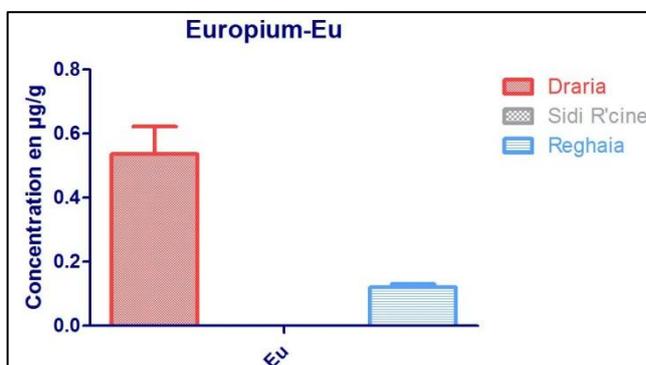


FIGURE 31: CONCENTRATIONS DE L'EUROPIUM.

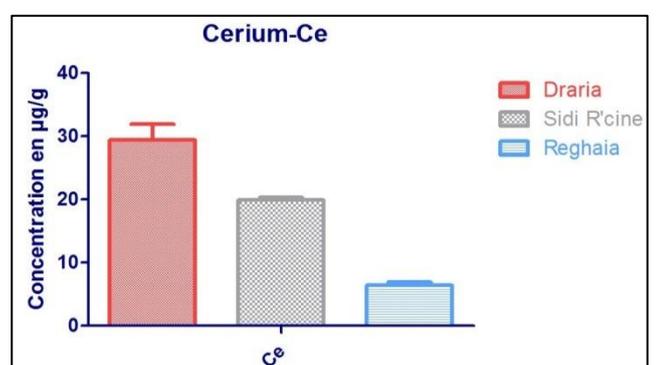


FIGURE 32: CONCENTRATIONS DU CERIUM.

Les fortes concentrations en cérium, terbium, scandium et europium, de la famille des terres rares, à Draria peuvent être rapportées à leurs applications industrielles dans les

industries avoisinantes comme celle de la céramique, du polissage et de briqueteries. Une teneur significatif en scandium et en cérium est présente à sidi R'cine ce qui peut être expliqué par l'utilisation de ces deux éléments comme catalyseurs de choix pour le craquage du pétrole [48].

L'Etain- Sn:

La présence singulière de l'étain au niveau de la zone de Reghaia peut être originaire des procédés de fonte et de raffinage de métal, en effet l'étain est employé comme revêtement anticorrosion pour le fer et le cuivre, aussi ses alliages sont destinés à la fabrication d'ustensiles domestiques [50].

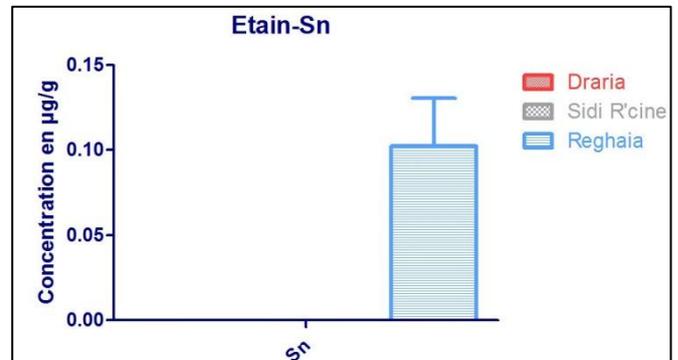


FIGURE 33: CONCENTRATIONS DE L'ETAIN.

Le Baryum-Ba :

La présence d'une significative teneur en Baryum à Sidi R'cine pourrait être due aux activités de l'industrie pétrolière. En effet, les composés barytiques sont utilisés comme alourdissant dans le forage des puits de pétrole. Cela laisse entendre que le pétrole brut utilisés peut contenir des débris de ces composés responsables de ces émissions [64].

Sa présence signifiante aussi a Draria peut être expliqué par l'utilisation de l'un de ses dérivés soit : la barytine dans la fabrication du verre et de la céramique étant donné qu'il améliore la viscosité et l'aspect des surfaces [64].

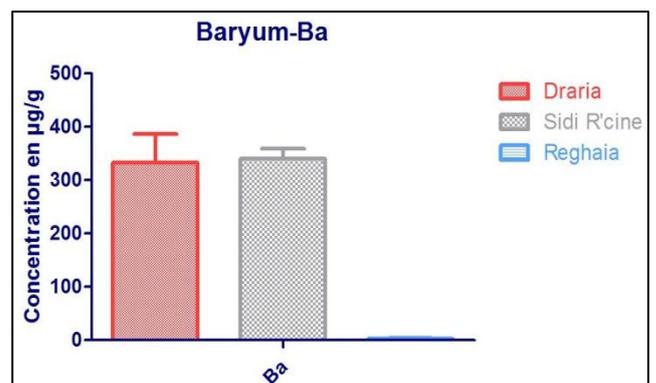


FIGURE 34.: CONCENTRATIONS DU BARIUM.

Le Sélénium-Se :

La forte teneur en sélénium à Draria peut être expliquée par son utilisation Dans les industries du verre, de la céramique, des peintures et des vernis, certains composés sont utilisés comme pigments (sélénite d'ammonium et sodium) [50].

Sa présence à Sidi R'cine et à Reghaia peut s'expliquer par l'utilisation des combustible fossiles. En effet le charbon et le pétrole ont des concentrations moyennes en sélénium variant entre 3 et 0.6 mg/kg respectivement [65].

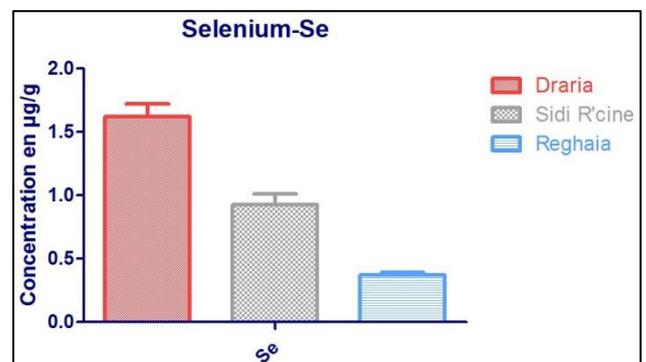


FIGURE 35: CONCENTRCTIONS DU SELENIUM.

Le mercure-Hg :

La grande teneur en mercure perçue à Reghaia peut provenir essentiellement des émissions liées aux industries métallurgiques [66], ainsi qu'à son utilisation dans l'industrie électrique en tant que constituant de piles, de lampes et de contacteurs [50].

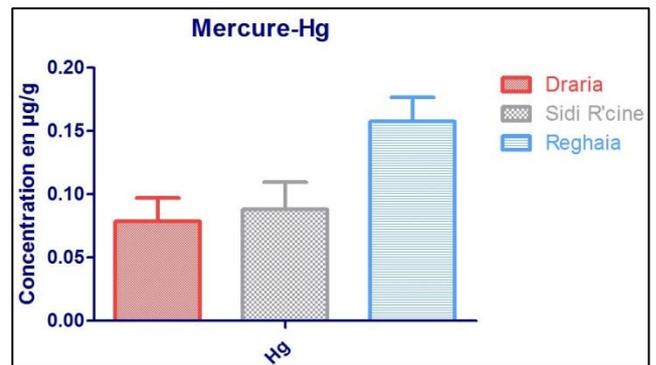


FIGURE 36: CONCNETRATIONS DU MERCURE.

Le Chrome-Cr :

La source naturelle prépondérante du chrome dans l'atmosphère est l'érosion, et la mise en suspension de particules par le vent ce qui peut expliquer sa présence dans les trois zones [50]

Ajouté à cela en ce qui concerne Draria, sa large utilisation dans les industries de polissages et de céramiques. En effet, Le chrome est aussi utilisé dans la fabrication de briques réfractaires, de revêtements intérieurs de fournaies, de mortiers et de produits mis en forme par moulage, de même que dans les matériaux de revêtement pour fermer les pores et pour joindre les briques dans les fournaies [67]

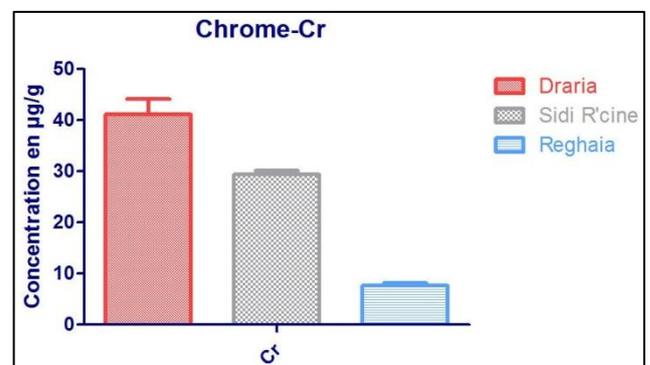


FIGURE 37: CONCNETRATIONS DU CHROME.

Le Cobalt-Co :

La présence significative de cobalt à Draria et à Sidi R'cine peut être expliquée par l'emploi des composés de Cobalt dans :

- * Les colorants pour le verre, le papier, la céramique, et les peintures (carbonate et chromate de cobalt) à Draria.
- * Les catalyseurs dans l'industrie du pétrole (acétate de cobalt(III), bromure de cobalt(II), carbonate, manganate, oxalate et sulfure) à Sidi R'cine [50].

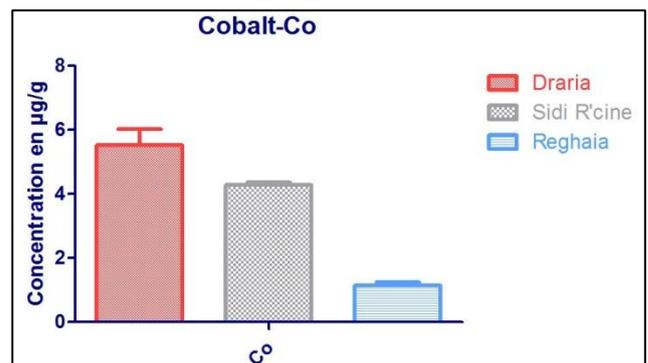


FIGURE 38: CONCENTRATIONS DU COBALT.

Le Zinc-Zn :

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent de trois groupes d'activités :

- Les processus de raffinage qui dégagent de grandes quantités de composés du zinc et notamment les oxydes du zinc c'est le cas de la zone de Sidi R'cine
- L'utilisation des dérivés du zinc comme pigments dans les industries de céramiques dans la zone de Draria.

Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol [50]

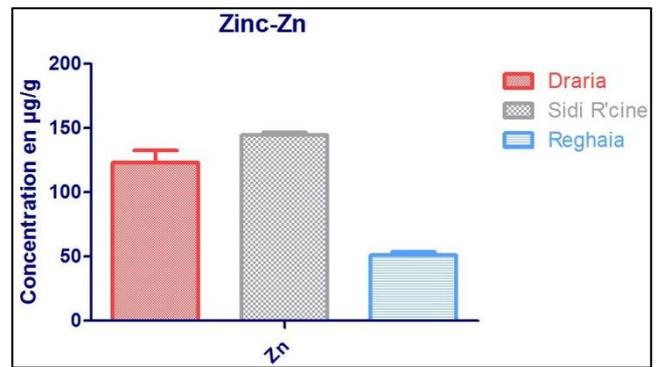


FIGURE 39: CONCENTRATIONS DU ZINC.

Le Fer-Fe :

La principale source d'émission atmosphérique du fer est d'origine naturelle puisque il résulte de la mise en suspension des particules du sol, la variation de sa concentration dans les trois zones peut être reliée aux facteurs climatiques et notamment la vitesse des vents. La zone de Draria est connue pour ses grands vents ce qui peut expliquer la forte concentration [48].

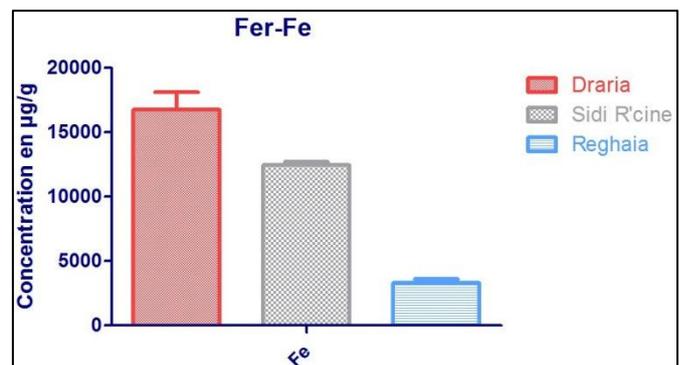


FIGURE 40: CONCENTRATIONS DU FER.

Le strontium-Sr :

Le strontium sous sa forme élémentaire est présent naturellement dans l'environnement, dans l'air sous forme de poussière. Il résulte de l'érosion éolienne. Sa forte présence à Sidi R'cine contrairement aux deux autres zones peut s'expliquer par son utilisation dans l'industrie pétrolière lors des opérations de combustion [68]

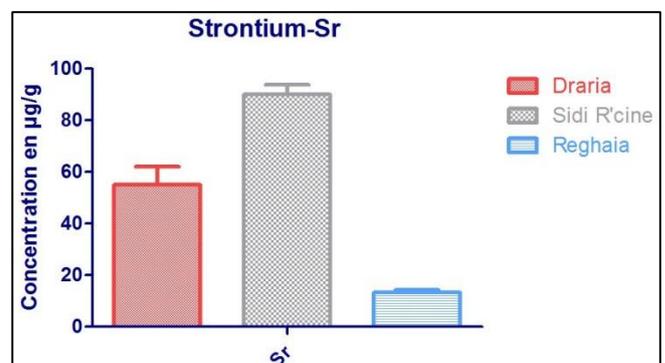


FIGURE 41: CONCENTRATIONS DU STRONTIUM.

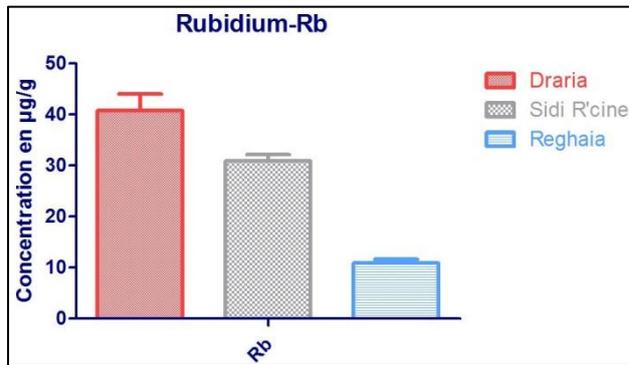
Le Rubidium-Rb; le Hafnium-Hf; le Césium :

FIGURE 42: CONCENTRATIONS DU RUBIDIUM.

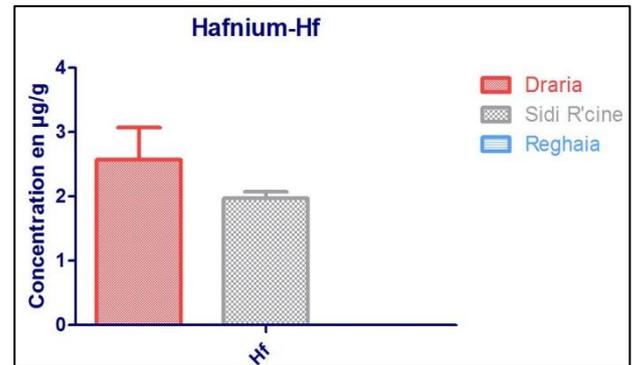


FIGURE 43: CONCENTRATIONS DU HAFNIUM.

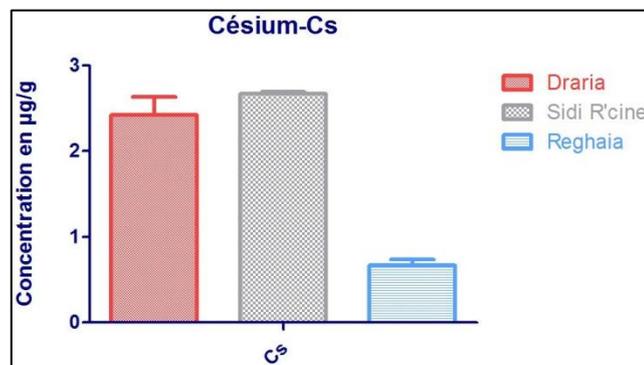


FIGURE 44: CONCENTRATIONS DU CESIUM.

La principale source d'émission atmosphérique du césium, hafnium et rubidium sont en grande partie d'origine naturelle puisque ils résultent de la mise en suspension des particules du sol. [69]

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude est la première étude de biosurveillance utilisant des lichens épiphytes en Algérie. Au terme de cette dernière, on a pu estimer les niveaux de contamination de l'air dans trois zones de la wilaya d'Alger : Draria à l'Ouest, Sidi R'cine au sud et Reghaia à l'Est, cette étude a été concrétisée par une identification des éventuelles sources de pollution.

L'étude a permis de détecter et de quantifier 26 éléments traces métalliques dont : le fer, le zinc, le chrome et le mercure...etc. Ces éléments, connus pour leur bio-persistance, constituent des risques majeurs aussi bien pour l'homme que pour son environnement.

Un choix stratégique des zones d'étude a été fait. Ce dernier porte sur la diversité des éventuelles sources d'émissions en polluants : Reghaia étant une zone industrielle, Sidi R'cine zone urbaine et Draria comme une zone périurbaine.

Les conditions climatiques et les situations géographiques caractérisant chaque zone ont été les facteurs clés de cette étude. En effet, on remarque que la zone de Reghaia au-delà des importants facteurs de dégradation qui la caractérise s'avère être la moins polluée comparé aux deux autres zones. Cette constatation part du fait que la commune étant localisé sur le littoral Algérois est ouverte à la mer et donc il y a dispersion des polluants. Le manque de données concernant les conditions climatiques de la zone de Draria a restreint nos interprétations concernant l'importante quantité de polluants détectés.

On a pu constater la contribution de divers secteurs industriels aux phénomènes de pollutions les plus marquants sont : l'industrie pétrolière, l'industrie de la céramique, du polissage et du verre et l'industrie du traitement des eaux. Ajouté à cela le trafic routier qui est ces dernières années en réelle expansion en Algérie.

Ajouter à tout cela, l'étude a mis en évidence une des méthodes de biosurveillance, celle utilisant les lichens épiphytes comme bioaccumulateur des ETM atmosphériques. La capacité des lichens à accumuler les divers polluants dans leurs tissus a été démontrée de part le grand nombre d'éléments détectés.

Le recours à la méthode d'analyse par activation neutronique s'est avéré judicieux. Cette méthode avec une remarquable précision et une grande sensibilité nous a permis d'aboutir à des résultats de choix avec des incertitudes très admissibles.

Cependant les diverses concentrations en polluants calculées ne peuvent pas indiqués sur l'abondance réelle des polluants dans l'air, ni de localiser la pollution sur une échelle temporelle puisque on a eu recours à la méthode de biosurveillance par voie passive.

Dans le but d'améliorer l'aspect de cette initiative, nous proposons :

- * L'utilisation de la méthode de transplants ou biosurveillance par voie active afin de pouvoir reportés les résultats à une échelle temporelle représentant la durée d'exposition à la pollution.
- * Le couplage de la méthode de biosurveillance avec celle des capteurs afin d'aboutir à des corrélations entre la quantité de polluant accumulée avec celle qui existe réellement dans l'air.

- * Multiplier les échantillonnages sur de vastes zones afin d'établir des cartographies indiquant sur la qualité de l'air et ainsi pouvoir détecter les sources de pollution les plus importantes.
- * L'intégration des apports en polluants que peut apporter le sol en quantifiant le facteur d'enrichissement du sol d'où les lichens sont prélevés.
- * Faire une étude à long terme afin d'identifier les teneurs réelles des polluants dans l'air et leur évolution par rapport à une échelle temporelle dans chaque zon étudiée.

LES ANNEXES

Annexe 1 : Tableaux des NETs

Ces tableaux représentent les surfaces des pics obtenus à partir des quels les concentrations ont été calculées :

TABLEAU 11: TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ECHANTILLONS 01 A 15 DE DRARIA.

CODE	référence	Sm-153 (103,2)	Ca-47 (159,8)	I-131 (364,5)	Yb-175 (396,7)	Br-82 (776,6)	Ga-72 (834,1)	Na-24 (1368,4)	La-140 (1595,4)
éch n°40	IPE 175	0	0	36	0	271	0	9	14
éch n°42	IPE 180	0	0	0	0	2684	30	61	253
éch n°34	GSV4	563	599	0	74	397	0	6	101
éch n°36	NIST	1180	4678	0	0	75297	0	0	356
éch n°01	L1	89651	7410	374	2996	34062	0	6230	11617.
Éch n°02	L1	66393	6602	387	2468	23799	416	2737	8878
éch n°03	L1	61205	5819	372	2322	22792	498	2663	624
éch n°04	L2	45380	5079	155	2067	12695	245	2232	6421
éch n°05	L2	48353	5418	292	1807	13133	0	1996	6355
éch n°06	L2	25606	3944	334	1559	5891	98	383	2815
éch n°07	L3	35342	5517	313	1912	7398	118	342	4866
éch n°08	L3	33417	5155	208	1915	7432	166	318	4660
éch n°09	L3	24908	3677	327	1386	5518	95	244	3907
éch n°10	L4	9132	1644	233	604	2378	114	150	1325
éch n°11	L4	13284	2312	116	885	3186	139	117	2097
éch n°12	L4	17146	2770	274	1011	3620	0	148	2632
éch n°13	L5	15042	2384	223	976	3652	78	115	2309
éch n°14	L5	16062	2664	126	1062	3835	95	72	2455
éch n°15	L5	13282	2077	99	833	3158	52	98	1987

TABLEAU 12:TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ECHANTILLONS 16 A 30 DE DRARIA ET DE 30 A 33 DE SIDI R'CINE.

CODE	référence	Sm-153 (103,2)	Ca-47 (159,8)	Te-130 (364,5)	Yb-175 (396,7)	As-76 (559)	Sb-122 (564)	Br-82 (776,6)	Na-24 (1368,4)	La-140 (1596)
éch n°37	NIST	392	3358	84	85	70	93	17648	0	104
éch n°43	IPE 180	1069	1166	0	102	0	41	585	13	70
éch n°16	L6	45873	7934	224	3171	736	9082	3971	241	6450
éch n°17	L6	33474	6218	126	2490	650	7198	3384	156	4676
éch n°18	L6	39697	7147	142	2997	636	8236	3537	125	5416
éch n°19	L7	26178	4291	210	1994	376	4300	4027	133	3573
éch n°20	L7	17421	3362	302	1457	235	3213	2543	59	2226
éch n°21	L7	16722	3490	189	1427	96	3145	2307	38	2287
éch n°22	L8	15969	3264	252	1595	146	2952	2556	61	2239
éch n°23	L8	15059	3123	81	1312	179	2840	2392	41	2085
éch n°24	L8	13446	2528	233	1243	242	2605	1996	37	1806
éch n°25	L9	24730	5733	212	2765	102	4746	2976	56	3298
éch n°26	L9	22038	5376	198	2422	182	4246	2708	48	2816
éch n°27	L9	21540	5164	127	2508	251	4637	2833	35	2984
éch n°28	L10	7311	2335	58	781	102	5098	1475	64	1007
éch n°29	L10	9050	2831	191	1066	0	6295	1841	92	1189
éch n°30	L10	10268	3177	154	1233	142	7102	1799	60	1478
éch n°31	SR	8839	4633	256	969	119	3617	1464	34	1184
éch n°32	SR	7106	4202	91	983	41	3061	929	7	917
éch n°33	SR	6485	3958	133	825	128	2746	875	34	842

TABLEAU 13 : TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ECHANTILLONS 01 A 15 DE REGHAIA.

CODE	référence	Sm-153 (103,2)	Lu-177 (208,4)	Yb-175 (396,1)	As-76 (559,2)	Br-82 (776,6)	Na-24 (1396)	La-140 (1596)
éch n°31	IPE 175	0	0	0	0	437	0	16
éch n°35	AIEA 336	1537	136	138	75	1579	33	116
éch n°01	L 01	6519	787	475	182	2020	80	705
éch n°02	L 01	5097	546	340	87	1634	41	730
éch n°03	L 01	6012	714	366	129	1848	76	443
éch n°04	L 02	7708	817	621	148	3533	48	775
éch n°05	L 02	6336	952	533	127	2776	47	456
éch n°06	L 02	5455	736	470	52	2226	28	407
éch n°07	L 03	5682	954	469	64	2126	65	393
éch n°08	L 03	6018	1016	514	49	2243	26	531
éch n°09	L 03	4455	664	397	80	1707	31	490
éch n°10	L 04	2649	591	364	50	1666	20	230
éch n°11	L 04	3010	755	453	20	1741	26	317
éch n°13	L 05	2324	458	270	25	1261	6	339
éch n°14	L 05	2736	624	303	20	1463	24	285

éch n°15	L 05	2274	485	258	42	1118	19	329
-----------------	------	------	-----	-----	----	------	----	-----

TABLEAU 14: TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ECHANTILLONS 16 A 30 DE REGHAIA.

CODE	référence	Nd	Sm	Lu	Yb	As	Sb	Br	Na	La
éch n°31	AIEA 336	158	2285	217	135	118	274	3175	131	362
éch n°35	IPE 180	0	0	0	0	89	224	10522	395	0
éch n°16	L 06	1151	13741	1090	959	295	2595	9307	810	1317
éch n°17	L 06	938	13615	1000	531	345	2738	8845	736	1148
éch n°18	L 06	948	14611	1135	831	276	2982	9382	669	1324
éch n°19	L 07	190	6772	651	326	141	1673	6648	435	536
éch n°20	L 07	244	8969	710	499	199	2161	8138	439	920
éch n°21	L 07	713	9561	857	412	299	2472	9006	491	868
éch n°22	L 08	1282	21342	1490	928	328	4165	18939	628	3176
éch n°23	L 08	1588	24484	1992	1280	506	4938	19442	612	2675
éch n°24	L 08	1263	19922	1682	1021	330	4322	16732	494	2024
éch n°25	L 09	1164	11878	825	558	279	2405	11286	315	1562
éch n°26	L 09	653	8415	826	533	163	1631	7666	146	1064
éch n°27	L 09	1039	10372	620	635	123	2352	8938	165	605
éch n°28	L 10	1141	16411	1286	905	313	3479	8351	254	1704
éch n°29	L 10	780	10868	1177	713	249	2539	5629	150	1186
éch n°30	L 10	1011	13406	1044	717	246	3517	6641	233	1517

TABLEAU 15: TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ELEMENTS DE LONGUE DUREE DE VIE DES ECHANTILLONS 01 A 15 DRARIA.

CODE	référence	Ce	Ba	Hg	Cr	Eu	Hf	Sr	Sb	Cs	Tb	Sc	Rb	Fe	Zn	Co
ech n°40	IPE 175	nd	nd	nd	56,5	Nd	nd	nd	nd	123	nd	nd	401	154	1030	49,1
ech n°42	IPE 180	nd	nd	333	1490	Nd	nd	nd	nd	1610	nd	nd	837	4360	1930	804
ech n°34	GSV4	1420	724	255	419	495	284	340	489	2350	143	5920	7760	1400	3520	689
ech n°36	NIST	1950	404	nd	1200	Nd	605	842	235	318	nd	4800	1000	1560	2870	1320
ech n°01	L1	75200	5460	1170	43900	29000	25200	1830	24000	29300	5010	525000	8250	158000	25700	32900
ech n°02	L1	69600	6030	1030	40100	26900	25000	1920	25600	27800	4660	487000	7230	145000	24000	30200
ech n°03	L1	66600	5700	1000	38700	25500	19700	1700	20700	25800	4420	464000	7190	139000	23500	28800
ech n°04	L2	47900	4610	1090	29000	19400	14900	1450	17200	20000	3720	345000	5350	102000	18500	21900
ech n°05	L2	54300	5020	930	34900	21400	16200	1840	19000	21900	3820	378000	5970	113000	20600	24200
ech n°06	L2	52100	5080	1120	33300	21400	16600	1760	18600	21500	3080	380000	6420	113000	20400	24400
ech n°07	L3	77000	6930	608	42200	30400	23500	2110	20500	30500	5040	540000	7800	159000	24400	33700
ech n°08	L3	75200	6420	1320	45100	29600	24500	2330	21200	31000	4690	544000	8030	160000	23800	33100
ech n°09	L3	57300	4710	596	33100	22400	16800	1470	15200	23400	4020	416000	5820	121000	19900	26600
ech n°10	L4	20800	1860	490	12100	8750	6500	nd	6530	8820	1700	151000	2379	44000	9650	9380
ech n°11	L4	30800	2300	475	17200	12100	9640	917	9600	13200	2280	219000	3430	63100	11700	13700
ech n°12	L4	42300	3250	692	24200	16600	12600	892	12300	17200	3100	302000	4320	88200	15000	18500

ech n°13	L5	33200	2240	682	18000	13800	9250	876	11900	15100	2880	250000	3340	70400	13600	15800
ech n°14	L5	39300	3000	869	22200	16900	12500	nd	13200	17500	2660	290000	4270	83600	16200	18700
ech n°15	L5	29600	2550	497	16300	1810	8360	834	10100	13000	1860	224000	3410	63700	13200	14400

TABLEAU 16: TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ELEMENTS DE LONGUE DUREE DE VIE DES ECHANTILLONS 16 A 33 DRARIA ET SIDI R'CINE.

CODE	reference	Ce	Ba	Se	Hg	Cr	Hf	Sr	Sb	Cs)	Sc	Rb	Fe	Zn	Co
ech n°37	NIST	1870	334	0	0	829	509	1170	332	317	4750	854	1420	3060	1510
ech n°43	IPE 180	0	132	373	419	1530	0	723	0	169	0	0	4140	2400	878
ech n°16	L6	114000	11900	3920	1590	64900	56200	2830	40500	49400	844000	9170	243000	43600	57400
ech n°17	L6	87200	9590	3600	1120	50100	42500	3100	33300	39400	656000	7110	190000	34300	43900
ech n°18	L6	100000	10300	3940	1430	59800	50300	2830	38200	46200	787000	8640	227000	39900	54000
ech n°19	L7	69400	5840	2600	1730	39700	27900	1620	20200	29900	513000	5460	147000	25900	33700
ech n°20	L7	59300	5120	2200	1150	32600	24900	1640	18600	26600	442000	5080	126000	22200	29100
ech n°21	L7	61700	5650	2390	847	34200	26000	1540	18500	27200	461000	5910	131000	23300	29500
ech n°22	L8	62200	5310	2510	841	37300	24500	1650	17700	30800	515000	5960	145000	23600	32900
ech n°23	L8	60300	4690	2530	1210	33500	22800	1610	18200	29500	482000	5850	136000	23100	30200
ech n°24	L8	55100	4160	2610	935	31800	20700	1010	15400	26400	441000	5350	123000	21300	27900

ech n°25	L9	97300	8120	4220	690	53400	46900	3110	29400	51300	835000	7910	224000	38400	56300
ech n°26	L9	99300	8010	4340	840	54300	45300	2600	30800	52100	2196,44	7760	231000	40100	57700
ech n°27	L9	105000	8470	4170	127	56900	49900	3220	30700	53100	883000	8530	241000	43500	61500
ech n°28	L10	37500	3420	1250	802	24600	12100	1210	37300	24100	330000	4210	96200	20400	22700
ech n°29	L10	540	0	0	0	317	180	0	279	461	543	58,5	1360	346	345
ech n°30	L10	51200	4510	2840	865	33100	18800	1420	51000	33100	463000	6060	132000	28000	31600
ech n°31	SR	43800	4890	1660	614	28700	16400	2930	27700	38000	437000	4130	114000	33700	29000
ech n°32	SR	45800	4390	2320	581,93	30600	16800	2890	28500	39600	454000	4230	118000	35400	30000
ech n°33	SR	43400	3730	1670	1080	28500	17800	3010	25500	36300	431000	4310	112000	32900	28200

TABLEAU 17: TABLEAU REPRESENTANT LES NETS DES ELEMENTS DE LONGUE DUREE DE VIE DES ECHANTILLONS 01 A 15 REGHAIA.

CODE	reference	Sn	Ce	Ba	Se	Hg	Cr	Eu	Sr	Sb	Cs	Tb	Sc	Rb	Fe	Zn	Co
ech n°31	IPE 175	353	nd	403	397	429	2080	Nd	553	nd	1160	nd	nd	748	4080	1670	668
ech n°35	STD AIEA 336	nd	2760	nd	395	733	1050	1010	270	657	1210	180	15200	273	3650	5440	1350
ech n°01	L 01	1790	13700	1700	856	314	8000	4310	579	5130	6640	923	84100	1880	25100	9250	4560
ech n°02	L 01	1150	10500	1350	783	446	6360	3640	364	4160	5300	738	67900	1520	20000	7590	3610
ech n°03	L 01	1750	13600	1940	993	411	8270	4930	nd	5060	6590	851	87400	1650	25900	8920	4430
ech n°04	L 02	3470	17900	2280	640	458	10200	6180	nd	6470	12500	1140	120000	2920	34700	9560	6340
ech n°05	L 02	3710	17900	2340	nd	531	10500	6020	530	6610	13100	784	124000	2350	35500	9250	6710
ech n°06	L 02	1630	15400	1760	706	392	8850	5640	237	5400	11000	1010	105000	2170	30500	8350	5530
ech n°07	L 03	1720	17000	1520	769	295	9910	6050	481	7080	8420	1030	116000	1920	33800	9490	6100
ech n°08	L 03	4280	19900	2120	970	356	11900	7190	401	8010	9630	1070	136000	2180	39700	11000	7350
ech n°09	L 03	3540	14300	1410	610	359	8700	5460	nd	5640	6710	762	94600	1710	27000	8140	4990
ech n°10	L 04	1430	10700	1200	548	593	5830	3780	nd	4980	5380	575	73800	1470	21200	8260	4050
ech n°11	L 04	1910	13400	1390	748	602	7730	4840	nd	5890	6410	833	92500	1520	26800	9100	5180
ech n°13	L 05	2460	10500	829	445	459	6190	3810	310	4890	5170	718	72400	1570	20500	8100	3950
ech n°14	L 05	3630	13800	1140	704	698	7390	4770	117	6080	6210	830	89900	1620	26200	8970	4830
ech n°15	L 05	2050	11500	793	728	391	6510	4060	366	5090	5450	622	74700	1440	21900	7730	4000

Annexe 02 : Calcul d'erreur

Ci-dessous la relation pour calculer les erreurs :

$$\Delta C_E = C_E \sqrt{\left(\frac{\Delta C_S}{C_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta NET_E}{NET_E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta NET_S}{NET_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M_S}{M_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M_E}{M_E}\right)^2}$$

TABEAU 18: TABLEAU REPRESENTANT LE MODELE DU CALCUL D'ERREUR.

Masse de l'échantillon Me	73,6
Masse du Standard Ms	43,8
Σ Me et Σ Ms	0,1

Éléments	Cs (concentration standard)	Σ Cs	NETs	Σ NET _s	Ce (concentration échantillon)	NET _E	Σ NET _E	Erreur
Nd-147	0,6	0,18	158	30,5	3,031137617	1141	73,3	1,09893702
Sm-153	0,106	0,014	2285	441	0,681052013	16411	1054	0,16526703
Lu-177	0,0066	0,0024	217	41,9	0,028280901	1286	82,6	0,01178582
Yb-175	0,037	0,012	135	26,1	0,188918492	905	58,1	0,07234081
As-76	0,63	0,08	118	22,8	1,891507543	313	20,1	0,4538318
Sb-122	0,073	0,01	274	52,9	0,759975321	3479	224	0,18647647
Br-82	12,9	1,7	3175	613	33,30185147	8351	537	8,07587328
Na-24	320	40	131	25,3	1036,318887	254	16,3	247,563207
La-140	0,66	0,1	362	69,9	2,90546655	1704	109	0,73731837

Annexe 03 : taux d'humidité

Le tableau ci-dessous représente les taux d'humidité des échantillons et les standards utilisés :

TABLEAU 19: TABLEAU REPRESENTANT LES TAUX D'HUMIDITE DES ECHANTILLONS ET LES STANDARDS UTILISES.

Reghaia		Draria		Sidi R'cine			
Désignation	H(%)	Désignation	H(%)	Désignation	H(%)		
IPE180	0,92639151	L 01	0,88901515	L 01	0,891	L 01	0,925
IPE175	0,95226831	L 01	0,88819876	L 01	0,885	L 02	0,923
NIST	0,93441262	L 01	0,89085714	L 01	0,888	L 03	0,928
AIEA 336	1	L 02	0,89285019	L 02	0,884		
GSV4	0,95707502	L 02	0,89265646	L 02	0,886		
		L 02	0,91943128	L 02	0,894		
		L 03	0,89849921	L 03	0,883		
		L 03	0,9015002	L 03	0,887		
		L 03	0,90186457	L 03	0,885		
		L 04	0,89960707	L 04	0,881		
		L 04	0,89741075	L 04	0,887		
		L 04	0,89908983	L 04	0,88		
		L 05	0,89052255	L 05	0,889		
		L 05	0,89447925	L 05	0,881		
		L 05	0,89773388	L 05	0,999		
		L 06	0,83700787	L 06	0,926		
		L 06	0,89536032	L 06	0,921		
		L 06	0,89452736	L 06	0,919		
		L 07	0,88983874	L 07	0,912		
		L 07	0,89242394	L 07	0,907		
		L 07	0,89083896	L 07	0,916		
		L 08	0,89272406	L 08	0,914		
		L 08	0,88897516	L 08	0,914		
		L 08	0,89384732	L 08	0,911		
		L 09	0,89445962	L 09	0,93		
		L 09	0,89316746	L 09	0,943		
		L 09	0,89317507	L 09	0,947		
		L 10	0,89643066	L 10	0,93		
		L 10	0,89494628	L 10	0,934		
		L 10	0,8991831	L 10	0,935		

Annexe 04: Modèle de spectre.

ORTEC g v - i (61) Wan32 G53W2.12 03/05/2012 15:43:39 Page 1

DPAN/CRND Spectrum name: 06100801a.An1

Sample description

Lichens N°1, ech: 92.0 mg; env: 18.7 mg

Spectrum Filename: C:\User\Spectres\EX061008\SP061008a\06100801a.An1

Acquisition information

Start time: 02/05/2012 16:27:19

Live time: 5000

Real time: 5136

Dead time: 2.65 %

Detector ID: 1

Detector system

DTNLABAAN MCB 337

Calibration

Filename: 06100801a.Spc

eu152

Energy Calibration

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

Zero offset: 0.229 keV

Gain: 0.500 keV/channel

Quadratic: -1.443E-08 keV/channel²

Efficiency Calibration

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

Knee Energy: 0.00 keV

Above the Knee: None Uncertainty = 0.00 %

Below the Knee: None Uncertainty = 0.00 %

Library Files

Main analysis library: NAA MP&LP.Lib

Library Match Width: 0.500

Analysis parameters

Analysis engine: Wan32 G53W2.12

Start channel: 20 (10.23keV)

Stop channel: 4048 (2023.35keV)

Peak rejection level: 100.000%

Peak search sensitivity: 3

Sample Size: 9.2000E+01

Activity scaling factor: $1.0000E+00 / (1.0000E+00 * 9.2000E+01) =$
1.0870E-02

Detection limit method: Traditional ORTEC method

Random error: 1.0000000E+00

Systematic error: 1.0000000E+00

Fraction Limit: 0.000%

Background width: best method (based on spectrum).

Half lives decay limit: 12.000

ORTEC g v - i (61) Wan32 G53W2.12 03/05/2012 15:43:39 Page 2

DPAN/CRND Spectrum name: 06100801a.An1

Activity range factor: 2.000

Min. step backg. energy 0.000

Multiplet shift channel 2.000

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

Decay correct to date:	NO	
------------------------	----	--

Decay during acquisition:	NO	
---------------------------	----	--

Decay during collection:	NO	
--------------------------	----	--

True coincidence correction:	NO	
------------------------------	----	--

Peaked background correction:	NO	
-------------------------------	----	--

Absorption (Internal):	NO	
------------------------	----	--

Geometry correction: NO

Random summing: NO

Energy Calibration

Normalized diff: 0.1402

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

Peak Centroid Background Net Area Intensity Uncert FWHM Suspected

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

20.17	10.32	11943.	1206.	0.241	13.13	0.918	HG-203	D
26.88	13.67	17313.	4897.	0.979	4.06	0.922	BR-82	D
34.01	17.24	22576.	6828.	1.366	3.34	0.926	NB-95	D
41.60	21.03	27134.	2586.	0.517	9.22	0.930	RH-106	D
49.43	24.94	30900.	2895.	0.579	13.70	2.059	AG-108	s
60.89	30.66	37800.	10150.	2.030	4.60	1.251	TE-131	s
69.91	35.17	38936.	3624.	0.725	12.29	2.521	XE-138	s
81.92	41.18	68700.	141870.	28.374	0.54	1.381	CE-141	s
93.67	47.11	35278.	27041.	5.408	1.16	0.957	GD-153	D
100.58	50.56	28720.	4800.	0.960	5.20	0.961	EU-154	D
107.03	53.79	26208.	1819.	0.364	12.80	0.964	YB-175	D
114.63	57.59	23758.	3133.	0.627	7.18	0.968	HF-181	D
125.90	63.16	14745.	2961.	0.592	7.89	0.816	LU-177	
134.93	67.66	17165.	4355.	0.871	4.52	0.979	TA-182	D
149.64	75.03	17211.	5378.	1.076	5.07	1.081	HG-203	
168.30	84.32	20983.	3148.	0.630	6.75	0.996	HG-203	D
189.01	94.67	22042.	4993.	0.999	4.44	1.007	AC-228	D
196.87	98.60	22951.	6458.	1.292	3.54	1.011	PA-234M	D
260.92	130.62	14477.	1104.	0.221	15.70	1.043	NP-237	D
280.42	140.37	12013.	878.	0.176	17.97	1.053	MO-99	D

312.36	156.35	11745.	288.	0.058	53.46	1.069	TA-182	D
318.47	159.41	11714.	7410.	1.482	2.37	1.072	MO-99	D
353.62	176.96	12647.	248.	0.050	64.57	1.089	J-131	D
395.78	198.05	14448.	986.	0.197	17.53	1.110	KR-89	D
483.67	241.99	9683.	549.	0.110	25.69	1.153	PB-214	D
547.07	273.68	9417.	765.	0.153	18.30	1.183	CS-136	D

ORTEC g v - i (61) Wan32 G53W2.12 03/05/2012 15:43:39 Page 3

DPAN/CRND Spectrum name: 06100801a.An1

Channel	Energy	Background	Net area	Cnts/sec	Uncert	FWHM	Suspected
584.94	292.60	8624.	641.	0.128	32.64	1.560	RU-103 s
669.88	335.06	10890.	527.	0.105	50.67	0.913	FE-59 s
832.03	416.09	6296.	557.	0.111	20.58	1.313	SB-126 D
1021.83	511.06	6932.	1142.	0.228	10.73	1.395	NA-22 D
1160.42	580.23	5620.	601.	0.120	30.83	2.560	PB-214 sM
1341.16	670.57	3703.	155.	0.031	58.34	0.709	J-132 s
1622.63	811.06	3580.	197.	0.039	43.61	1.628	CO-58 D
1670.33	834.94	3605.	3532.	0.706	2.93	1.645	MN-54 D
1903.58	951.67	3079.	404.	0.081	24.93	2.401	TE-131 s
2015.88	1007.54	1963.	480.	0.096	13.83	1.759	BR-82 D
2163.07	1081.43	2054.	278.	0.056	23.80	1.804	BR-82 D
2434.10	1216.64	1057.	188.	0.038	25.52	1.880	AS-76 D
2595.97	1297.47	958.	216.	0.043	21.40	1.921	J-133 D
3302.35	1650.72	140.	202.	0.040	14.08	2.258	BR-82 s
3464.97	1731.99	149.	561.	0.112	5.66	2.086	BI-214 s
3563.58	1781.27	56.	16.	0.003	73.24	1.453	BR-82 s
4008.98	2003.85	2008.	425.	0.085	20.76	2.993	XE-138 s

s - Peak fails shape tests.

D - Peak area deconvoluted.

M - Peak is close to a library peak.

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

Nuclide Peak Centroid Background Net Area Intensity Uncert FWHM

Channel Energy Counts Counts Cts/Sec 1 Sigma % keV

Sm153	138.93	69.67	22248.	14838.	2.968	1.64	0.981D
J-131	159.96	80.18	10989.	887.	0.177	17.05	0.992D
EU-155	172.69	86.54	22172.	3504.	0.701	6.24	0.998D
CD-109	175.67	88.03	21975.	1998.	0.400	10.73	1.000D
Nd-147	181.81	91.11	20336.	4353.	0.871	4.87	1.003D
GD-153	194.47	97.43	22565.	4304.	0.861	5.17	1.009D
NP-239	198.71	99.55	26790.	2024.	0.405	11.65	1.012D
TA-182	199.82	100.11	25038.	1925.	0.385	11.85	1.012D
Sm153	205.97	103.18	19441.	89651.	17.930	0.40	1.015D
GD-153	205.97	103.18	18504.	0.	0.000	0.47	1.005D
NP-239	207.13	103.76	103531.	2666.	0.533	17.18	1.016D
EU-155	210.22	105.31	46607.	0.	0.000	1000.00	1.017D
NP-239	211.86	106.12	18270.	4798.	0.960	4.24	1.018D
Yb-169	219.17	109.78	14993.	1337.	0.267	13.24	1.022D
LU-177	225.51	112.95	17158.	2768.	0.554	6.96	1.025D
YB-175	227.22	113.81	16856.	2263.	0.453	8.38	1.026D
NP-239	233.62	117.00	14109.	1156.	0.231	14.82	1.029D
SE-75	241.85	121.12	16751.	465.	0.093	39.67	1.034D
EU-152	243.19	121.78	14175.	3952.	0.790	4.55	1.034D
EU-154	245.76	123.07	19304.	501.	0.100	39.46	1.036D
Ba-131	247.23	123.81	14541.	2769.	0.554	6.44	1.036D

HF-181 265.67 133.02 12813. 4487. 0.897 3.87 1.046D

ORTEC g v - i (61) Wan32 G53W2.12 03/05/2012 15:43:39 Page 4

DPAN/CRND Spectrum name: 06100801a.An1

Nuclide Channel Energy Background Net area Cnts/sec Uncert FWHM

W-187 268.12 134.25 18402. 372. 0.074 51.77 1.047D

SE-75 271.63 136.00 12569. 950. 0.190 17.01 1.049D

MO-99 280.65 140.51 12138. 0. 0.000 0.00 0.826D

FE-59 284.94 142.65 14440. 1568. 0.314 11.13 1.055D

CE-141 290.52 145.44 12118. 8891. 1.778 2.05 1.058D

TA-182 304.50 152.43 11954. 551. 0.110 28.39 1.065D

Yb-169 354.08 177.21 13406. 1150. 0.230 14.54 1.090D

MO-99 361.80 181.07 13472. 127. 0.025 130.04 1.094D

FE-59 384.49 192.41 16175. 4038. 0.808 7.87 1.153

Yb-169 395.59 197.96 12765. 955. 0.191 17.05 1.110D

LU-177 416.90 208.61 16145. 3786. 0.757 8.38 1.169s

Ba-131 431.56 215.94 14152. 1996. 0.399 14.16 1.471s

TA-182 442.78 221.55 15850. 3227. 0.645 9.72 1.150s

NP-239 456.06 228.18 10758. 1675. 0.335 9.09 1.140D

TA-182 458.34 229.32 13668. 291. 0.058 57.03 1.141D

EU-152 489.10 244.70 10804. 732. 0.146 20.41 1.155D

EU-154 495.57 247.93 6458. 225. 0.045 50.90 1.159D

SN-113 513.00 256.64 8606. 34. 0.007 396.18 0.000s

TA-182 527.87 264.08 7120. 269. 0.054 44.74 1.174D

SE-75 529.03 264.66 7222. 167. 0.033 72.18 1.175D

NP-239 554.92 277.60 9121. 1720. 0.344 8.21 1.187D

HG-203 558.12 279.20 10649. 88. 0.018 166.52 1.188D

SE-75 558.82 279.54 10129. 205. 0.041 69.68 1.189D

YB-175	564.77	282.52	8772.	1831.	0.366	7.60	1.191D
J-131	568.34	284.30	8150.	45.	0.009	283.68	1.193D
TB-160	596.90	298.58	9757.	1427.	0.285	10.14	1.206D
Pa-233	600.42	300.34	10830.	1654.	0.331	9.23	1.208D
Pa-233	623.59	311.92	10827.	8468.	1.694	2.28	1.249
K-42	624.79	312.52	17118.	0.	0.000	1000.00	1.220
CR-51	639.90	320.07	11456.	5706.	1.141	4.96	1.228
LA-140	657.30	328.77	11194.	13141.	2.628	1.61	1.240
Pa-233	681.39	340.81	8068.	983.	0.197	13.31	1.246D
EU-152	688.34	344.28	9808.	2002.	0.400	7.34	1.249D
HF-181	691.64	345.93	9754.	837.	0.167	17.04	1.250D
J-131	728.17	364.19	7588.	374.	0.075	52.34	1.940s
Ba-131	746.80	373.50	12422.	960.	0.192	31.97	1.273s
SN-113	783.18	391.69	6721.	143.	0.029	81.67	1.292D
TB-160	784.83	392.51	7546.	121.	0.024	101.91	1.292D
YB-175	792.47	396.33	7489.	2996.	0.599	4.47	1.296D
SE-75	801.13	400.66	6529.	352.	0.070	32.87	1.300D
EU-152	822.05	411.11	17209.	0.	0.000	1000.00	1.309D
AU-198	823.43	411.80	7033.	11253.	2.251	1.41	1.310D
SB-125	855.58	427.88	3804.	18.	0.004	483.26	1.324D
LA-140	864.82	432.49	6580.	1733.	0.347	7.04	1.328D
EU-152	888.24	444.20	4872.	282.	0.056	52.84	1.179
SB-125	922.88	461.51	6805.	91.	0.018	148.40	0.698s
W-187	958.97	479.55	6512.	173.	0.035	66.56	1.369D
HF-181	964.23	482.18	5852.	2903.	0.581	4.16	1.371D

Nuclide	Channel	Energy	Background	Net area	Cnts/sec	Uncert	FWHM
LA-140	973.92	487.02	6648.	20766.	4.153	0.89	1.375D
Ba-131	992.54	496.33	5872.	1574.	0.315	7.33	1.383D
RU-103	994.05	497.08	8008.	17.	0.003	756.61	1.384D
Sr-85	1027.90	514.00	6843.	203.	0.041	58.13	1.398D
Nd-147	1063.31	531.70	7930.	589.	0.118	41.61	1.309s
BR-82	1108.63	554.35	5674.	39267.	7.853	0.57	1.431D
AS-76	1118.13	559.10	6270.	3724.	0.745	3.42	1.435D
AS-76	1126.40	563.23	15744.	1974.	0.395	9.27	1.439D
SB-122	1128.42	564.24	6856.	11126.	2.225	1.42	1.440D
CS-134	1138.60	569.33	5580.	577.	0.115	18.79	1.444D
EU-154	1183.00	591.52	1721.	0.	0.000	1000.00	0.000s
SB-125	1201.16	600.60	4102.	20.	0.004	450.05	1.469D
SB-124	1205.43	602.73	6221.	2692.	0.538	4.57	1.471D
CS-134	1209.41	604.72	8562.	2529.	0.506	5.54	1.472D
RU-103	1220.63	610.33	5900.	52.	0.010	207.55	1.477D
BR-82	1238.32	619.17	8635.	21363.	4.273	1.06	1.510
Ga-72	1259.91	629.96	4385.	72.	0.014	129.90	1.492D
SB-125	1271.90	635.95	5435.	170.	0.034	61.84	1.497D
J-131	1273.97	636.99	5464.	36.	0.007	292.27	1.498D
SB-124	1291.83	645.91	5338.	227.	0.045	53.06	1.231
AS-76	1314.11	657.05	4332.	512.	0.102	18.73	1.514D
AG-110M	1315.53	657.76	5831.	92.	0.018	118.46	1.514D
CS-137	1323.33	661.66	3862.	7.	0.001	1308.16	1.517D
W-187	1372.13	686.05	4779.	161.	0.032	68.35	1.050
EU-154	1384.89	692.42	4222.	0.	0.000	1000.00	1.541D
SB-122	1385.34	692.65	4287.	466.	0.093	20.41	1.541D
BR-82	1396.79	698.37	4518.	12749.	2.550	1.16	1.545D
NB-94	1405.29	702.62	4895.	50.	0.010	199.22	1.549D

AG-110M	1413.41	706.68	3359.	19.	0.004	427.64	1.552D
SB-124	1445.63	722.79	4114.	304.	0.061	30.39	1.564D
EU-154	1446.67	723.30	4832.	17.	0.003	594.87	1.564D
ZR-95	1448.46	724.20	4682.	170.	0.034	57.32	1.565D
MO-99	1482.23	741.08	3777.	119.	0.024	84.59	0.464s
LA-140	1503.36	751.64	4038.	1452.	0.290	6.72	1.585D
ZR-95	1513.55	756.73	4268.	0.	0.000	1000.00	1.589D
EU-154	1513.70	756.80	3636.	241.	0.048	35.93	1.589D
AG-110M	1527.98	763.94	3845.	86.	0.017	102.43	1.594D
TB-160	1530.66	765.28	3944.	0.	0.000	1000.00	1.595D
NB-95	1531.71	765.81	3442.	160.	0.032	52.32	1.596D
BR-82	1553.14	776.52	3720.	34062.	6.812	0.60	1.604D
MO-99	1555.95	777.92	26550.	0.	0.000	0.00	0.267D
EU-152	1557.91	778.90	29131.	142.	0.028	170.53	1.605D
CS-134	1592.00	795.94	4481.	1784.	0.357	7.08	1.698
LA-140	1631.68	815.77	3894.	7121.	1.424	1.71	1.632D
BR-82	1655.80	827.83	3932.	9324.	1.865	1.41	1.640D
Ga-72	1668.21	834.03	4296.	0.	0.000	0.00	1.665D
EU-152	1734.96	867.39	5679.	164.	0.033	65.49	1.668D
LA-140	1735.87	867.85	4361.	1451.	0.290	6.95	1.668D

ORTEC g v - i (61) Wan32 G53W2.12 03/05/2012 15:43:39 Page 6

DPAN/CRND Spectrum name: 06100801a.An1

Nuclide Channel Energy Background Net area Cnts/sec Uncert FWHM

NB-94	1742.37	871.09	4915.	0.	0.000	1000.00	1.670D
EU-154	1746.56	873.19	4246.	85.	0.017	108.73	1.672D
TB-160	1758.96	879.38	4276.	741.	0.148	13.02	1.676D
AG-110M	1769.56	884.68	4384.	174.	0.035	54.43	1.679D

SC-46	1778.75	889.28	4198.	52277.	10.455	0.47	1.682D
Ga-72	1788.70	894.25	2953.	0.	0.000	0.00	0.621D
LA-140	1839.32	919.55	3118.	694.	0.139	11.99	1.703D
LA-140	1850.61	925.19	2935.	1905.	0.381	4.63	1.706D
AG-110M	1874.00	936.88	736.	2.	0.000	1662.83	0.125s
EU-152	1928.52	964.13	2919.	453.	0.091	17.51	1.732D
TB-160	1932.61	966.17	2893.	355.	0.071	22.09	1.733D
EU-154	1992.81	996.26	1651.	95.	0.019	61.28	1.752D
TB-160	2006.06	1002.88	2238.	98.	0.020	69.29	1.756D
EU-154	2009.75	1004.72	2391.	93.	0.019	74.99	1.758D
BR-82	2088.73	1044.20	3465.	8892.	1.778	1.76	1.729
Ga-72	2102.14	1050.90	1351.	0.	0.000	1000.00	1.786
RB-86	2154.36	1077.00	2079.	1350.	0.270	5.50	1.801D
EU-152	2172.20	1085.91	2023.	411.	0.082	16.25	1.807D
EU-152	2179.77	1089.70	2024.	55.	0.011	115.92	1.809D
FE-59	2199.23	1099.43	2964.	16770.	3.354	1.02	1.828
EU-152	2224.62	1112.12	2102.	324.	0.065	20.75	1.822D
TB-160	2230.63	1115.12	3940.	0.	0.000	1000.00	1.824D
ZN-65	2231.49	1115.55	1814.	1898.	0.380	3.92	1.824D
SC-46	2241.49	1120.55	12338.	32794.	6.559	0.73	1.827D
TA-182	2243.00	1121.30	33383.	11802.	2.360	2.38	1.827D
CO-60	2346.92	1173.24	1172.	2812.	0.562	2.55	1.856D
TB-160	2356.38	1177.96	1430.	201.	0.040	27.56	1.859D
TA-182	2379.79	1189.67	1272.	176.	0.035	37.68	1.584
EU-152	2426.38	1212.95	1158.	106.	0.021	46.59	1.878D
TA-182	2443.30	1221.41	1003.	363.	0.073	13.40	1.882D
TA-182	2461.87	1230.69	1205.	219.	0.044	30.41	1.396s
EU-154	2547.32	1273.39	1128.	196.	0.039	32.76	1.005s
FE-59	2583.75	1291.60	1197.	10661.	2.132	1.07	1.918D

EU-152	2598.81	1299.12	1102.	0.	0.000	1000.00	1.922D
BR-82	2636.02	1317.72	1591.	7365.	1.473	1.54	2.017
CO-60	2665.91	1332.66	1506.	2453.	0.491	3.40	1.999
SB-124	2736.96	1368.16	7130.	1327.	0.265	9.41	1.955D
NA-24	2738.63	1369.00	2307.	6230.	1.246	1.67	1.955D
AG-110M	2768.46	1383.91	311.	16.	0.003	157.87	0.690s
EU-152	2816.91	1408.12	737.	449.	0.090	12.73	1.884s
BR-82	2950.80	1475.03	280.	4064.	0.813	2.02	2.035
AG-110M	3007.77	1503.51	89.	20.	0.004	71.68	1.487
K-42	3050.97	1525.10	219.	214.	0.043	14.22	2.315s
LA-140	3193.27	1596.21	12364.	3562.	0.712	4.72	2.050D
EU-154	3193.84	1596.49	4309.	11617.	2.323	1.22	2.050D
SB-124	3383.38	1691.22	167.	489.	0.098	7.11	2.324s

s - Peak fails shape tests.

D - Peak area deconvoluted.

ORTEC g v - i (61) Wan32 G53W2.12 03/05/2012 15:43:39 Page 7

DPAN/CRND Spectrum name: 06100801a.An1

Analyzed by: _____

NAA

Reviewed by: _____

Supervisor

Laboratory: DPAN/CRND

Sites web :

1. l'air 40. *atmo-alsace*. [En ligne] <http://www.atmo-alsace.net/site/Lair-40.html>.
2. pollution_atmospherique. *www.actu-environnement.com*. [En ligne] http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/pollution_atmospherique.php4.
38. **Widemann, François**. [En ligne] [Citation : 29 Mars 2012.] <http://www.culture.gouv.fr/culture/conservation/fr/methodes/activati.htm#Principe>.
45. **Agence pour la promotion et la protection du littoral algerois**,. *www.appl.dz*. [En ligne] www.appl.dz/spip.php?rubrique45.
48. les terres rares: composition et utilisation. *www.scei-concours.fr*. [En ligne] Service de concours écoles ingénieures , 2002. www.scei-concours.fr/tipe/sujet_2002/chimie_2002.pdf.
69. *www.lenntech.fr*. [En ligne] <http://www.lenntech.fr/periodique/elements/>.

Bibliographie

3. **McCABE, Louis C, M.S., PH.D.** *Définition du problème que pose la pollution de l'air*.
4. **EL YAMANI, Mounia**. *Environnement et milieu:pollution atmosphérique urbaine*. s.l. : Afsset, juin 2006.
5. *CCI environnement et sécurité*. Basse Normandie : CCIR, Aout 2009.
6. **CITEPA**. s.l. : Air fobed, 2000.
7. **Commission Fédérale de L'Hygiène de l'air**,. *Les polluants atmosphériques azotés en suisse*. suisse : s.n., 2005.
8. **GRANGE, Dorothée, HOST, Sabine et GREMY, Isabelle**. *Les composés organiques volatiles*. Ile de France : ORS, Decembre 2007.
9. **LACOUR, Stéphanie**. *Cours de pollution atmosphérique*. s.l. : Cerea.
10. Censensus scientifique sur la pollution de l'air. s.l. : Green Facts, 2005.
11. *Méthodes Spectrometriques d'Analyse et de Caractérisation*. Saint-Etienne : Ecole des Mines, 1997.
12. **Métropol, INRS**. *Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)*. 17/10/2007. Fiche 011/V01.01.
13. *Protocole de Kyoto Nations Unies*. Kyoto : s.n., 1998.
14. **WEXLER, Harry**. *Météorologie et pollution de l'air*. Etat Unis d'Amerique : s.n.

15. **SERAGHNI, Nassira.** *MESURE DE LA POLLUTION PARTICULAIRE ET METALLIQUE DANS L'AIR AU NIVEAU DE TROIS SITES URBAINS DE LA VILLE DE CONSTANTINE.* Constantine : Université de Constantine, 2007.
16. **Bur, Thomas.** *IMPACT ANTHROPIQUE SUR LES ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS LES SOLS AGRICOLES DE MIDI-PYRENEES IMPLICATIONS EN TERMES DE LIMITES ET DE CHARGES CRITIQUES.* Toulouse : l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), 2008.
17. **BLIN, Cathrine, et al., et al.** *les micropolluants dans l'air.* Wallonne : s.n., 2004.
18. **Marcel, GIROUX, Louise, Deschaines, Raynald et Chassé.** *les éléments traces métalliques leur accumulation dans les sols agricoles au Québec.* Québec : s.n., 2006.
19. **Gérard, MIQUEL.** *les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé.* s.l. : office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2001.
20. **Fanny, VANOBERGHEN.** *La phytoremédiation en Wallonie : Evaluation du potentiel d'assainissement des sols contaminés en métaux lourds.* Bruxelles : université libre de Bruxelles, 2010
21. **IFMT-MS-Santé.** *Santé.* 2006.
22. *journal officiel de l'Union européenne.* 1999.
23. *journal officiel de l'Union européenne.* 2005.
24. **Rzepka, Marie Amélie.** *Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques.* s.l. : Air pur N 75 deuxième édition, 2008.
25. **Daillant, Olivier.** lichens et accumulation des métaux lourds. *Association Française de Lichénologie AFL.* 2003.
26. **Garrec, Jean Pierre.** *Biosurveillance végétale de la pollution de l'air et de l'eau.* 2007.
27. **BERNARD, A, DURIF, M et VANDAME, L.** *Retombées des métaux lourds cas d'un site de seconde fusion du plomb.* 2004.
28. **PIERVITTORI, R et MAFFEI, S.** *The importance of indicator species in the biomonitoring of atmospheric pollution, a case study in the city of Aosta.* Italy : Cryptogamie Mycologie, 2001.
29. **SAITANIS, C.J et KARANDINOS, M.G.** *Instrumental recording and biomonitoring of ambient ozone in the Greek countryside .* 2001.
30. **GONZALEZ, C.M et PIGNATA, M.L.** *Chemical response of the lichen Punctelia sbrutelia (Nyl.) Krog transplanted close to a power station in an urban-industrial environment.* s.l. : Environmental Pollution, 1997.
31. **CONTI, M.E et CECCHETTI, G.** Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assesment. *Environmental Pollution.* 2001, pp. 471-492.
32. Etude diagnostique sur l'évaluation de la pollution par les particules fines et leurs constituants, intégrant les méthodes de bioindication et de bioaccumulation en Alsace. Alsace : s.n.

33. **klumpp, A, Garrec, Jean Pierre et Shang, H.** *Eurobionet : a pan-european bio monitoring network for urban air quality assessment.* s.l. : Environ. Sci and Pollut., 2002.
34. **Bricaud, Olivier.** *Les lichens des forêts de la région méditerranéenne Française et leur relation avec le continuité écologique des boisements.* 2010.
35. **BRICAUD, Olivier.** *les lichens et la végétation lichénique du Parc National de la Guadeloupe.* s.l. : Association Française de Lichénologie.
36. **DELPORTE, Alain.** *Projet de diagnostic et de cartographie de la pollution de l'air.* s.l. : CDPA , 2006.
37. *Lichens forestiers de Wallonie introduction et aide à la reconnaissance de dix espèces indicatrices.* Liège : Unité de Recherche du Département Biologie Ecologie et Evolution .
39. **REVEL, Gilles.** *Technique de l'ingénieur: Analyse par activation.*
40. **P. Avino, G. Capannesi, A. Rosada.** *INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS, A POWERFUL INSTRUMENT IN DETERMINING ENVIRONMENTAL POLLUTION: THEORY AND APPLICATIONS.* April-June 2007.
41. **Verma, H.R.** *Atomic and atomic analytical methods: XRF, Mössbauer, XPS , NAA and.* berlin : Springer, 2007.
42. **BIGOT, Pascal.** CIRA-2 le noyau.
43. **Reuss, Paul.** *Précis de neutronique.* s.l. : EDP sciences collection génie atomique, 2003.
44. **LEYNI-BARBAZ, DANIEL.** *DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODE DE DOSAGE DU MERCURE DANS L'AIR À BASE D'HOPCALITE PAR ANALYSE PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE.* Montréal : Université de montréal, 2001.
46. **Amel, BERKANI BAZIZ et Ali, HADJIEDJ.** *La raffinerie de pétrole d'Alger: Quels risques sur son environnement?* Alger : s.n.
47. **HOCQUARD, Christian et GUYONNET, Dominique.** *Recyclage des métaux rares: Contexte et besoins .* ECOMINE. 2010.
49. **LAPERCHE, et al.** *Guide méthodologique de l'arsenic appliqué à la gestion des sites et sols pollués.* s.l. : BRGM, 2003.
50. **MARLIERE, Fabrice, BACQUET, Nathalie et ROUEZ, Maxime.** *Métaux-Mercure.* 2002.
51. **Wauquier, Jean-Pierre.** *Le raffinage du pétrole: Pétrole brute et produits pétroliers.* 443.
52. **BONNARD, et al.** *Fiche toxicologique du sodium.* s.l. : INRS, 2006.
53. *Oregon Revised Statutes.* s.l. : Section 449, 1956. 705 et seq.
54. **BERT, V et DERAM, A.** *Guide des phytotechnologies : utilisation des plantes dans la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds.* France : Environnement et

Développement alternatif, 1999. Cité par Fanny VANOBBERGHEN, la phytoremédiation en Wallonie: Evaluation du potentiel d'assainissement des sols contaminés en métaux lourds. Bruxelles : Université libre de Bruxelles, 2010..

55. **Amblard-Gross, G, et al., et al.** *Biological fluxes conversion and SXRF experiment with a new active biomonitoring tool for atmospheric metals and trace element deposition*. s.l. : Environmental Pollution, 2002. pp. 47-58. Cité dans: Étude diagnostique sur l'évaluation de la pollution par les particules fines et leurs constituants, intégrant les méthodes de bioindication et de bioaccumulation en Alsace.Alsace..

56. **Krommer, et al.** *Monitoring atmospheric pollutants in the biosphere reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements*. s.l. : Chemosphere, 2007. pp. 1956-1966. Cité par: Rzepka, Marie Amélie. Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. s.l. : Air pur N 75 deuxième édition, 2008.

57. **Tomasevic, et al.** *Characterisation of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area*. s.l. : Chemosphere 61, 2005. pp. 753-760. Cité par: Rzepka, Marie Amélie. Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. s.l. : Air pur N 75 deuxième édition, 2008..

58. **Berlizov, et al.** *Testing applicability of black poplar (Populus nigra L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions*, *Science of the Total Environment*. 2007. pp. 693-706. Cité par: Rzepka, Marie Amélie. Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. s.l. : Air pur N 75 deuxième édition, 2008.

59. **Gratani, L, Crescente, M.F et Varone, L.** *Long-term monitoring of metal pollution by urban trees*, *Atmospheric Environment*. 2008. pp. 8273-8277. Cité par: Rzepka, Marie Amélie. Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. s.l. : Air pur N 75 deuxième édition, 2008.

60. **Emmanuël, Sérusiaux, Paul, Diederich et Jacques, Lambinon.** *Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg et du nord de la France*. s.l. : Ferrantia 40, 2004. p. 192.

61. **Knops, et al.** *Mineral Cycling and Epiphytic Lichens: Implications at the Ecosystem Level*. s.l. : Lichenologist 23, 1991. pp. 309 - 321. Cité par: Daillant, Olivier. lichens et accumulation des métaux lourds. Association Française de Lichénologie AFL. 2003.

62. **Brown, DH et Brown, RM.** *Mineral Cycling and Lichens: the Physiological Basis*. s.l. : Lichenologist 23, 1991. pp. 293 – 307. Cité par: Daillant, Olivier. lichens et accumulation des métaux lourds. Association Française de Lichénologie AFL. 2003.

63. **Garty, J.** *Biomonitoring Atmospheric Heavy Metals with Lichens: Theory and Application*. s.l. : Critical Reviews in Plant Sciences, 2001. pp. 309 - 371. Cité par: Daillant, Olivier. lichens et accumulation des métaux lourds. Association Française de Lichénologie AFL. 2003.

64. **Conseil canadien des ministres de l'environnement.** *Recommandations canadiennes pour la qualité des sol: Environnement et santé humaine-baryum*. Winnipeg : Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999.

65. **Conseil canadien des ministres de l'environnement.** *Recommandations canadiennes pour la qualité des sols: Environnement et santé humaine:sélénium.* Winnipeg : Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 2009.

66. **BEUGELIN-SEILLER, K et SIMON, O.** *Fiche radionucléide: Mercure 203 et environnement.* s.l. : IRSN, 2004.

67.**Conseil canadien des ministres de l'environnement.** *Recommandations canadiennes pour la qualité des sols: Environnement et santé humaine-Chrome.* Winnipeg : Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999.

68. **ROUSSEL-DEBET, S et BEUGELIN, K.** *Fiche radionucléide Strontium 90 et environnement .* s.l. : IRSN, 2005.

الملخص:

الدراسة المقدمة تهتم بتقدير نوعية الهواء على مستوى ثلاث مناطق من ولاية الجزائر : درارية غرب , براقي جنوب و رغاية شرق. الهدف الرئيسي يتمثل في ايجاد بعض العناصر المعدنية الدقيقة مثل: الزرنيخ, الحديد و الزنك المعروفة بتأثيراتها السلبية على مختلف الأنظمة الإيكولوجية. استعملت طريقة الرصد البيولوجي النباتي و الفطري عن طريق نبات الحزاز الهوائي *Xantoria parietina* . اقترن أسلوب الرصد مع طريقة التحليل بالتنشيط النتروني المعروفة بحساسيتها العالية و هذا للتقدير الكمي للنتائج. دراسة مقارنة و تحديد المصادر المحتملة للانبعاث قد تمت من أجل تقييم العمل.

المفاتيح:

التلوث الهوائي, الرصد البيولوجي, الحزاز, طريقة التحليل بالتنشيط النتروني.

Résumé :

La présente étude porte sur l'évaluation de la qualité de l'air au niveau de trois zones de la wilaya d'Alger : la commune de Draria à l'Ouest, Baraki au Sud et Reghaia à l'Est. Le principal intérêt est la détection de certains éléments traces métalliques (ETM) comme : l'arsenic, le fer, le Zinc....etc reconnus pour leurs effets néfastes sur divers écosystèmes. La méthode utilisée est la biosurveillance végétale et fongique utilisant les lichens épiphytes et spécialement le genre *Xanthoria parietina*. Cette méthode de surveillance a été couplée avec la méthode d'analyse par activation neutronique (NAA), connue pour sa grande sensibilité, afin de quantifier nos résultats. Une étude comparative et une identification des éventuelles sources d'émissions a été faite afin de concrétiser notre travail.

Mots clés :

Pollution atmosphérique, biosurveillance, lichens, éléments traces métalliques, analyse par activation neutronique.

Abstract:

The present study relates to the evaluation of air quality in three zones of Algiers: the commune of Draria in the West, Baraki in the South and Reghaia in the East. The principal interest is the detection of certain elements metal traces (ETM) like: arsenic, iron, Zinc... etc recognized for their harmful effects on various ecosystems. The method used is the vegetable and fungic biomonitoring using epiphytes lichens and in particularly *Xanthoria parietina*. This method of monitoring was coupled with NAA (*neutron activation analyses*), known for its great sensitivity, in order to quantify our results. A comparative study and an identification of the possible sources of emissions were made in order to concretize our work.

Keywords:

Air pollution, biomonitoring, metal trace element, lichens, Neutron Activation Analyses