

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun -Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière: "Biologie"

Spécialité: "Pathologie des Ecosystèmes"

Présenté et soutenu publiquement par :

Mlle Diallo Oumou

Mlle Sidibé Alimata

Biosurveillance de la qualité de l'air par les mousses au niveau de la ville de Tlemcen cas du Plomb(Pb)

JURY:

-Présidente: Dr. Benaraba. R Faculté des SNV

-Examineur: Dr. Zerrouki. D Faculté des SNV Maitre de conférences

-Promoteur: Mr. Berraya.M Faculté des SNV

-Co-promoteur :Mr. Azaoui.M Faculté des SNV

Année universitaire: 2014–2015

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions tout d'abord ALLAH le Tout Puissant, pour nous avoir permis de tenir durant ces cinq longues années de nos études et d'arriver à bout.

Nos remerciements s'adressent aussi:

A nos parents, pour leur amour, leurs soutiens et leurs sacrifices, sans lesquels, nous ne serions pas là aujourd'hui.

*Un grand merci à Mr **BERRAYAH MOHAMED** et Mr **AZAOU** qui ont initié cette étude et qui nous ont encadrés tout le long de ce travail, en nous faisant bénéficier de leurs connaissances, de leurs aides, de leur disponibilité permanente et de leurs conseils judicieux.*

Notre sympathie et notre profonde reconnaissance s'adresse aux membres du jury, pour avoir accepté d'être de ce jury.

*Merci à Mme **BENARRABA.R** de nous avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Merci également à Mme **ZEROUKI** d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

Nous remercions également tout le personnel du laboratoire d'écologie végétale pour leur collaboration.

Nos remerciements sont aussi à l'endroit de l'ensemble des enseignants du Département Science de la Nature et de Vie et plus particulièrement aux enseignants de la filière Pathologie des Ecosystèmes qui ont presque réussi à étancher notre soif d'apprendre.

Nous tenons à témoigner toute notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en tout premier lieu à ma mère (MARIAM DIENTA) l'amour de ma vie; une femme exceptionnelle dotée d'un courage incomparable. Une femme à grand cœur à qui je dois absolument tous dans la vie car je ne pourrais jamais la remercier assez pour son amour inconditionnel, le courage dont elle a témoigné pour mon éducation mes études et mon bien-être, pour tous ses sacrifices, son dévouement, son soutien à tous moment.

A mon père (MAHAMADOU L SIDIBE) pour tout son amour.

A mes grand-mères (ALIMATA et FATOUMATA YALOUTA) pour leur immense amour et soutien.

A feu mon grand-père (MOUSSA DIENTA) et ma tante (AMI SANGARE) qui, vivront à tous jamais dans nos cœurs.

Je témoigné une profonde gratitude envers mes tantes adorées (KADIDIA, FANTA, AMINATA, DJENABA et ALIMATA DIENTA) pour leur grande tendresse et amour et leur présence dans ma vie.

A mes oncles (MAHAMADOU, LASSINE ET CHEICK) pour toute leur affection et leur soutien.

A mon ange DIDIA et ma moitié SAFIATOU que j'aime plus que tout au monde.

A mes cousins et cousine (KOROTOUMOU, YA, MOUSSA, AHAMED) sans qui non enfance n'aurait pas été si agréable.

A mon binôme (DIALLO OUMOU) et toute sa famille.

A tous les étudiants de Tiaret, à toutes les étudiantes de la cité de karman.

Je dédie également ce travail à tous mes amis, à la promotion 2010-2011, à tous ceux pour qui suis précieuse et à tous ceux qui me sont précieux.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à toutes les personnes qui ont contribué à réaliser ce rêve. Je pense en particulier

A Mon père Hamadoun

Mon idéal, mon guide, celui qui a fait de moi ce que je suis via son Affection, son Amour, son soutien et ses encouragements.

A ma mère Aya

Maman, je salue ton courage et ton dynamisme, je te dois toute ma vie. Ce travail est aussi et surtout ton œuvre, car sans tes efforts, ton amour, tes conseils, tes prières et tes sacrifices consentis, je n'aurais pu y aboutir.

Vos prières et vos conseils m'ont permis de réaliser ce travail, il est le vôtre. Trouvez dans ce mémoire, le fruit de vos sacrifices consentis pour mon éducation,

A mes frères et sœur Anna, Affrou, Gogo, Amadou

Qui ont su me redonner confiance à chaque fois que je nageais en eaux troubles. vous avez réussi à éteindre ma soif d'être entourée

A ma grand-mère Aïssata Tiro que j'aime de tout cœur

A mon cousin Goubel

A mes tantes

A mes tontons

A ma binôme MATA CHOU et sa famille

A Kaïdia founé, AICHA, Firifirini, Dani

A mes amis et tous ceux qui me sont chers....

DIALLO OUMOU

Table des Matière

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Introduction

générale.....1

Partie I

Etude Bibliographique

Chapitre I : généralité sur la pollution atmosphérique

I.1 Définition de l'atmosphère.....	4
I.2 Structure de l'atmosphère.....	4
I.3 Pollution atmosphérique.....	5
I.4 Source de la pollution atmosphérique.....	5
I.5 Echelles de la pollution.....	5
I.6 Principaux polluants atmosphérique.....	6
I.6.1 Les polluants primaires.....	6
I.6.2 Polluants Secondaires.....	7
I.7 Transfert des polluants de l'atmosphère dans les sols et les eaux.....	7
I.8 Paramètres influençant la pollution atmosphérique.....	8
I.8.1 Les facteurs météorologiques.....	8
I.8.2 Facteurs topographiques.....	9
I.9 Effets de la pollution atmosphérique.....	10
I.9.1 Effet de la pollution atmosphérique à l'échelle Planétaire.....	10
I.9.2 Conséquences éco toxicologiques de la pollution atmosphérique	11
I.9.2.1. Acidification et eutrophisation.....	12
I.9.2.2. Impact de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes forestiers.....	12
I.9.3 Impact de la pollution de l'air sur la santé humaine.....	13
I.10 Règlementation Algérienne et norme de pollution atmosphérique.....	15
I.10.1. Législation et norme de rejet nationale.....	15

Chapitre II : pollution atmosphérique par les métaux lourds

II.1. Définition des métaux lourds.....	18
II.2. Sources des éléments traces métalliques.....	18
II.2.1 Les sources naturelles d'éléments traces métalliques.....	18

II.2.2. Les sources anthropiques.....	18
II.3. Classification des éléments des métaux lourds (traces métalliques).....	18
II.4. Caractéristique Généraux des éléments traces métalliques.....	19
II.5. Impact des métaux lourd (Eléments trace métalliques).....	19
II.5.1 Impact sur la Santé.....	19
II.5.2 Impact sur l'environnement.....	20
II.6 Norme et Règlementation.....	22

Chapitre III : Biosurveillance de la qualité de l'air

III.1. Généralité sur la biosurveillance.....	24
III.1.1 Définitions.....	24
III.1.1.1 Biosurveillance.....	24
III.1.1.2 Biosurveillance de la qualité de l'air.....	24
III.2. Les Différentes approches de la biosurveillance.....	24
III.2.1. Biosurveillance dite Sensible.....	24
III.2.2. Biosurveillance par accumulation.....	25
III.3. Stratégie de mise en œuvre de la biosurveillance.....	25
III.4. Place de la biosurveillance par rapport aux méthodes physico- chimiques.....	27
III.4.1. Méthodes Physico-Chimiques.....	27
III.4.2. Place de la biosurveillance.....	27

Chapitre IV : Bryophytes- Mousses

IV.1. Généralités sur les bryophytes.....	28
IV.2. Mousses.....	29
IV. 2.1. Définition.....	29
IV.2.2. Origine.....	29
IV.2.3. Classification.....	29
IV.2.4. Caractéristiques anatomique et morphologique des mousses.....	29
IV.2.5. Processus physiologique impliqué dans le développement des mousses.....	30
IV.2.6. Caractéristiques écologiques des mousses.....	31
IV.2.7. Caractéristique des mousses utilisés en biosurveillance.....	31
IV.2.8. Mousses et Environnement.....	32

Partie II

Partie Expérimentale

Chapitre V : Présentation de la zone d'étude

V.1 Présentation de la wilaya de Tlemcen.....	33
V.1.1 Situation géographique.....	33
V.1.2 Situation hydrographique.....	34
V.1.3 Situation démographique.....	34
V.1.4 Relief.....	34

V.1.5 Facteurs climatiques.....	35
V.1.5.1 Précipitation.....	35
V.1.5.2 Température.....	36
V.1.5.3 Facteurs climatiques complémentaires.....	38
V.1.5.3.1 Humidité.....	38
V.1.5.3.2 Vents.....	39
V.1.5.4 Données climatiques de la période de transplantation.....	40
V.1.5.5. Synthèse climatique.....	40
V.1.5.5.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	40
V.1.5.5.2 Indice pluviométrique et le climagramme d'Emerger.....	41
V.1.6 Réseau routier.....	42

Chapitre VI : Matériels et méthodes

VI.1. Origine du matériel expérimental.....	44
VI.1.1 Choix du site de prélèvement et de la zone d'étude.....	44
VI.1.2. Choix de l'espèce.....	45
VI.1.3 choix des éléments trace métalliques.....	45
VI.2 Mise en place du protocole expérimental.....	46
VI.2.1 Maillage.....	46
VI.2.2 Technique et durée de transplantation.....	47
VI.2.3 Protocole analytique des échantillons au laboratoire.....	49

Chapitre VII : résultats et discussions

VII.1 Les Analyses Statistiques	52
VII.1.1 Concentrations en Plomb obtenus pour chaque station.....	52
VII.1.2 Classification automatique de la pollution de la zone d'investigation	53
VII.1.3 Teneur en plomb dans les différentes classes de pollution.....	54
VII.2 Discussions générale.....	56
Conclusion et perspectives.....	58

Référence bibliographiques

Liste des abréviations

Andi: Agence Nationale de l'Investissement.

APPA NPC : Association pour la **Pr**évention de la **P**ollution **A**tmosphérique **N**ord-**P**as de Calais.

ASPA : Association pour la **S**urveillance et l'étude de la **P**ollution atmosphérique en **A**lsace

AVC: Accident vasculaire Cérébral

C: Toxicité chronique.

CFC: ChloroFluoroCarbone

COV: Compose **O**rganique **V**olatile

ETM: Elément **T**race **M**étallique

HAP: Hydrocarbure **A**romatique **P**olycyclique

HCFC :HydroChloroFluoroCarbure

HFC :HydroFloroCarbure

INERIS : Institut National de l'**E**nvironnement **I**ndustriel et des **R**isques

J.O.R.A.D.P: Journal **O**fficiel de la **R**épublique **A**lgérienne **D**émocratique et **P**opulaire

LEA: Late **E**mbryogenesis **A**bundant **P**roteins

MATET : **M**inistre de l'**A**ménagement du **T**erritoire, et de l'**E**nvironnement

OMS: **O**rganisation **M**ondiale de la **S**anté

ONEDD: **O**bservatoire **N**ational de l'**E**nvironnement et du **D**éveloppement **D**urable

PCB : PolyChloroBiphényle

PFC: PerFluoroCarbure

PM 2,5 : Particules en suspension, dont le diamètre est inférieur à **2,5** micromètres

PM10 : Particules en suspension, dont le diamètre est inférieur à **10** micromètres

POPs: Pollutants **O**rganiques **P**ersistants

SAA : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique

SAMASAFIA: système de surveillance de la pollution de l'air installé dans six grandes villes algériennes.

Liste des figures

Fig. I. 1: les différentes couches de l'atmosphère.	4
Fig.I. 2 : Les effets physio-toxicologiques des pluies acides, et des aéropolluants sur les forêts.	13
Fig.I. 3: Répartition du nombre de décès par pathologie, exprimée en pourcentage attribuable à la pollution de l'air extérieur.	15
Fig.III. 1: Schéma conceptuel de la biosurveillance	25
Fig. IV. 1: cycle de vie des bryophytes	28
Fig.IV.2 Morphologie d'une mousses	30
Fig.IV. 3 : Exemples de mousses pleurocarpes et acrocarpes	32
Fig V. 1: Carte de la situation géographique de la willaya de Tlemcen.	33
Fig V. 2: Températures moyennes mensuelles de la willaya de Tlemcen de 2000-2014.....	37
Fig V. 3: Températures moyennes annuelles de la willaya de 2000-2014	37
Fig V. 4: diagramme ombrothermique de Gaussen	41
Fig V. 5: diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	42
Fig VI. 1: Mousse transplantée dans la ville de Tlemcen	48
Fig VI. 2: Protocole experimental	51
Fig VII. 1: concentration en Pb ($\mu\text{g/g}$) des différents échantillons de mousses dans la ville de Tlemcen.....	52
Fig VII. 2: Classification automatique des données récoltées dans les différentes stations de la ville de Tlemcen ($\mu\text{g/g}$).....	54
Fig VII. 3 : Représentation graphique en boîte à moustache des teneurs en Pb ($\mu\text{g/g}$)	55
Fig VII. 4: comparaison de la concentration du plomb ($\mu\text{g/g}$) dans les mousses et les lichens.	56

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Modification du méso climat urbain par la pollution atmosphérique ..	11
Tableau I. 2: Principaux indicateurs de la pollution atmosphérique mesurée et leurs effets sur la santé.	14
Tableau I. 3: norme des valeurs limites et objectif de qualité de l'air fixé par l'Algérie.	16
Tableau I. 4: norme de seuil d'information et seuils d'alerte fixé par l'Algérie	17
Tableau II. 1: classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité.	19
Tableau II. 2: Temps de demi-vie biologique de quelques éléments	20
Tableau II. 3: Toxicité des principaux métaux lourds (Sirven, 2006).....	22
Tableau II. 4 : Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air.....	23
Tableau III. 1: Comparaison entre les deux méthodes	26
Tableau V. 1: Moyenne des précipitations (P en mm) Mensuelles calculées sur la période (2000-2014).....	33
Tableau V. 2: Moyenne des précipitations (P en mm) annuelles calculées sur la période (2000-2014).....	36
Tableau V. 3: Moyennes mensuelles des températures minimales (m en °C) calculées sur la période (2000-2014).....	38
Tableau V. 4: Moyennes mensuelles des températures maximales (M en °C) calculées sur la période (2000-2014).....	38
Tableau V. 5: Humidité moyenne(%) de la willaya de Tlemcen durant 2000-2014.	39
Tableau V. 6: Vitesse moyenne du vent (km /h) de la willaya durant 2000-2014.	39
Tableau V. 7: représentation des moyennes des températures, des précipitations, de humidité et de la vitesse du vent, sur de la période de transplantation.	40
Tableau V. 8: Répartition du parc automobile par catégorie de la Wilaya de Tlemcen (1995, 1996, 2003,2014).	43
Tableau VI. 1: les stations choisies pour notre étude	47

Introduction

Générale

Introduction Générale

La qualité de l'air reste de nos jours, l'une des préoccupations majeures, étant donné que l'air est contaminé par divers polluants dont les concentrations augmentent de façon progressive.

L'air est un «produit» gratuit, un «aliment» spécifique, indispensable à la vie et dont l'utilisation est libre. Nous en respirons environ 15 m³ par jour, soit près de 20 kg, à comparer à 2 L d'eau potable et 1 kg d'aliments divers (**Anonyme, 1998 in Maïga B, 2014**). Cependant, on y rejette une multitude de substances qui altèrent ses qualités et notre santé.

Une mauvaise qualité de l'air représente un risque immédiat pour la santé car, l'homme ne peut ni s'empêcher de respirer l'air, ni de l'épurer. Elle a aussi des effets à long terme, avec l'installation de pathologies chroniques ou de maladies graves.

Les effets de l'air dépendent non seulement de la nature du polluant, de la dose inhalée, mais aussi de l'âge de l'individu, de son état de santé et de ses habitudes de vie.

par ailleurs, il convient de souligner que notre santé n'est pas la seule à être affectée par la pollution de l'air. Elle a aussi des effets sur les écosystèmes qui nous entourent.

Le phénomène de pollution de l'air devient de plus en plus complexe, du fait de l'évolution et de la diversification des sources de pollution, occasionnées par l'accroissement démographique et ses exigences. En effet, cet accroissement s'accompagne d'une demande croissante en énergie, en transport, en habitation, en chauffage, en alimentation d'où, la multiplication des activités humaines principalement: les occupations industrielles, agricoles (utilisation d'engrais azotés, des pesticides et les émissions animales), la déforestation (pour la construction des bâtiments et leur chauffage), le transport (trafic routier), la production d'énergie etc...

Bien que ces activités représentent les sources majeures de la pollution de l'air, il est à noter qu'il existe d'autres sources cette fois-ci naturelles, tel que les volcans, les feux de forêts, l'érosion, la foudre (émission d'oxydes d'azote et d'ozone) etc....

Parmi les molécules introduites dans l'atmosphère, les plus dangereuses sont les métaux lourds qui occupent une place non négligeable. Ils sont non biodégradables et potentiellement toxiques (ils prennent sournoisement la place des minéraux essentiels et créent ainsi une déficience). Les métaux lourds peuvent se disperser dans l'atmosphère puis, éventuellement retomber par voie sèche ou humide, sur les sols en bordure de chaussée où ils sont entraînés par le ruissellement des eaux pluviales (**Rial et al, 2003 in Zerrouki, 2013**).

Introduction Générale

Les métaux lourds sont en partie des constituants naturels de la croûte terrestre. Ils sont donc toujours présents dans le sol, dans l'eau souterraine et dans l'eau de surface. Les métaux sont également engendrés par l'activité humaine.

Durant ces dernières décennies, la pollution atmosphérique en milieu urbain par les métaux lourds est principalement d'origine anthropique. Nous devons donc estimer l'imprégnation de l'environnement et suivre son évolution d'où, la nécessité de quantifier les polluants. C'est dans cette optique que s'introduit la biosurveillance végétale de la qualité de l'air.

Depuis les années 1960, les mousses sont utilisées pour la biosurveillance de la qualité de l'air vis-à-vis des métaux lourds. L'utilisation des mousses comme bioaccumulateur passifs de polluants métalliques (métaux lourds) n'est pas applicable sur toutes les zones. Pour pallier à cela, la méthode active consistant à prélever des mousses d'un milieu dit «sain » est utilisée comme alternative. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail qui consiste à diagnostiquer la qualité de l'air au niveau de la ville de Tlemcen.

Ce diagnostic se focalise sur le dosage des métaux lourds à l'aide de bryophytes (mousses). Ainsi, les objectifs de notre travail sont de:

- Faire une étude du phénomène de pollution au niveau de ville de Tlemcen;
- Doser des principaux éléments traces métalliques d'origine routière;
- Faire une analyse statistique ;
- Faire une étude comparative entre la ville de Tlemcen et Tiaret.

Le travail se compose de deux parties: une exclusivement basée sur les recherches bibliographiques et l'autre sur l'expérimentation, respectivement appelées partie bibliographique et partie expérimentale.

La partie bibliographique est divisée en quatre chapitres: le premier énonce les généralités sur la pollution atmosphérique, le second est relatif à la pollution atmosphérique par les métaux lourds. La biosurveillance et ces différents concepts sont décrits dans le troisième chapitre et en fin le quatrième présente des connaissances sur les bryophytes et les décrit brièvement.

Quant à la partie expérimentale, elle se divise en chapitres un (I), deux (II) et trois (III), qui traitent respectivement les axes suivant : la présentation de la wilaya de Tlemcen, les matériels et méthodes utilisés lors de notre recherche ainsi que les résultats et la discussion.

Introduction Générale

En fin, l'analyse de ces derniers éléments nous a permis de faire une conclusion portant une appréciation de la qualité de l'air de la ville de Tlemcen avec les perspectives qui en découlent.

Partie I

Bibliographique

Chapitre I

Généralités sur

La pollution atmosphérique

I - Généralités sur la pollution atmosphérique

I.1 - Définition de l'atmosphère

Le terme atmosphère sous-entend du grec *atmos*: vapeur, fumée et du latin *sphaira*: boule, globe terrestre. Ainsi, on entend par atmosphère, la couche de gaz qui entoure la terre et certains astres (**Rey-Debove,2009**). D'après **Ramade, 2002**, l'atmosphère est de nature gazeuse et représente la couche la plus extérieure de la terre.

L'atmosphère (l'air) n'est jamais *propre* ou *pure*, en ce sens qu'elle ne contient que de l'azote et de l'oxygène qui sont ses principaux constituants, mais également de l'argon qui est un constituant secondaire. Les teneurs volumiques de ces trois éléments sont respectivement de: 78.084%, 20.946% et 0.934%, celles-ci constituent une concentration volumique de 99.964%. Les autres, avec une teneur volumique inférieure à 0.04% constituent les gaz mineurs (**Bliefert, 2001**).

I.2 - Structure de l'atmosphère

Elle peut être schématiquement découpée selon l'altitude en quatre zones à savoir: i) la troposphère pour laquelle les altitudes sont inférieures à 8 km au-dessus des pôles et 18 km au-dessus de l'Equateur ; ii) la stratosphère, pour les altitudes atteignant 50 km; iii) la mésosphère, ou l'altitude s'élève jusqu'à 85 km et enfin iv) la thermosphère ou l'ionosphère avec une altitude de 150 km environ(**Sportisse, 2003**).

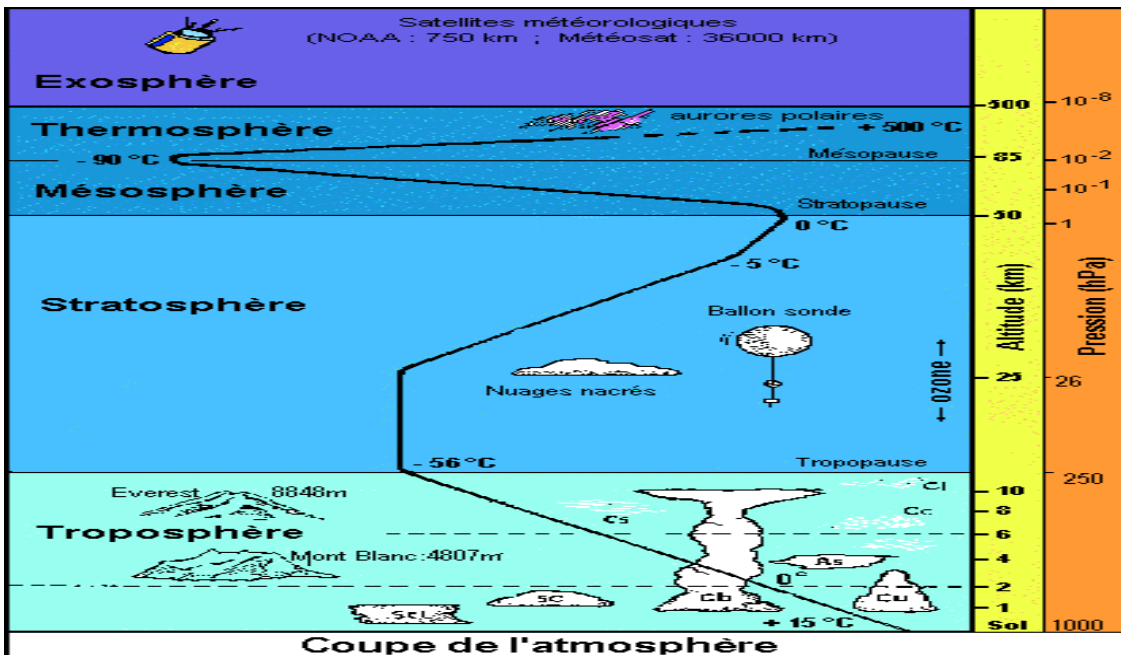


Fig. I. 1: les différentes couches de l'atmosphère.

I.3 - Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est définie comme «l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et dans 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 et à provoquer des nuisances olfactives excessives»(Yamanim, 2006).

I.4 - Source de la pollution atmosphérique

Les sources émettrices de polluants dans l'atmosphère sont d'origine naturelle ou anthropique.

Les sources d'origine naturelles induisent des émissions qui constituent des apports de polluants dans l'atmosphère, où l'homme n'a pas ou a peu de responsabilité. Elles sont entre autres : les sources biogéniques, l'érosion éolienne, les émissions des océans, les éruptions volcaniques, les sources géothermales, la foudre et les feux de forêts (Seigneur, 2013).

Les sources anthropiques quant à elles sont directement liées aux activités humaines. Elles peuvent être selon leur modalité d'émission ponctuelles (centrales thermique, secteurs résidentiels et agricole, incinérateurs, appareils industriels, engrais etc...) ou diffuses (transport automobile, navire, et avion) (Koller, 2004).

I.5 - Echelles de la pollution

La pollution atmosphérique peut s'analyser selon différentes catégories, associées à des échelles spatiales spécifiques qui sont : locale, régionale et planétaire. Ces échelles sont à leur tour fonction du transport des polluants et donc de leurs durée de vie qui dépend de la stabilité des substances chimiques.

➤ **Pollution de proximité ou pollution à l'échelle locale**

Il s'agit d'une Pollution typique des centres villes qui s'étend sur une distance allant de 10m à 10Km. Elle concerne les zones soumises à des phénomènes souvent perceptibles par la vue ou l'odorat (panaches industriels, résidentiels ou échappements automobiles, densification des installations de chauffage). Ceci élargi les zones soumises à des niveaux de pollution élevés jusqu'à couvrir les agglomérations entières (échelle urbaine). (Gaston, 2006).

➤ **Pollution à l'échelle régionale**

Elle peut être constatée jusqu'à plus de 1000 Km autour de sa source. La pollution photochimique avec la formation d'ozone à partir de polluants primaires, sous l'effet du

rayonnement solaire et la pollution acide (liée au dioxyde de soufre, et aux oxydes d'azote...) sont à l'origine des pluies acides qui entraînent le dépérissement des forêts, la dégradation des sols ainsi que celle des matériaux (**Fan et al 2009in Bourbatache, 2005**).

➤ **Pollution à l'échelle planétaire (environ 1000 Km)**

Les Phénomènes aux effets planétaires, présentent des enjeux sanitaires et environnementaux considérables pour l'homme et les écosystèmes. Certains polluants ont des durées de vie si grandes, qu'ils s'accumulent dans des couches hautes de l'atmosphère et bouleversent le climat : effet de serre, pluies acides, diminution progressive de la couche d'ozone stratosphérique (**Aouissi, 2011., Gaston, 2006.,Marseille, 2005**).

I.6 - Principaux polluants atmosphérique

Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes à savoir : les polluants primaires et les polluants secondaires.

I.6.1 - Les polluants primaires

Les polluants primaires qui se trouvent généralement à l'endroit de l'émission sont issus des sources comme le trafic routier, les industries, le chauffage, agriculture et sont émis directement dans l'atmosphère. Il s'agit essentiellement de ceux qui suivent :

➤ **Dioxyde de soufre (SO₂)**

Gaz incolore, irritant et très soluble dans l'eau, son odeur est acre à forte concentration. Il est émis lors de la combustion de matières fossiles contenant du soufre (fuel, charbon 95%).

➤ **Oxydes d'azote (NO, NO₂)**

Ce terme englobe le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote. Le NO est un gaz incolore, inodore qui se transforme en NO₂ dans l'atmosphère. Ils sont émis lors des phénomènes de combustion (transport, industrie, agriculture, transformation d'énergie.) (**Koller, 2004**).

➤ **Oxydes de carbone (CO, CO₂)**

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore émis par la quasi-totalité des processus de combustion (transport 55%, industrie 25%), surtout lorsqu'ils sont incomplets. Quant au dioxyde de carbone, il se forme lors de la combustion des combustibles fossiles, de la respiration des êtres vivants et de l'éruption volcanique (**Ramade, 2005**).

➤ **Particules en suspension**

Elles proviennent essentiellement de la combustion des matières fossiles, du transport routier et de diverses activités industrielles (incinération, sidérurgie...). Leur composition et leur taille sont

très variables (les PM10 ont un diamètre inférieur à 10 micromètres, les PM 2,5 ont un diamètre inférieur à 2,5 micromètres...) (**Environnement, 2008**).

➤ **Polluants Organiques Persistants (POP)**

D'une manière générale, les pops proviennent de combustions incomplètes (incinération de déchets, métallurgie...). Par ailleurs, certaines sources diffuses très difficiles à évaluer (incinération de fonds de jardin, combustion résidentielle, feux de forêts...), sont de plus en plus considérées comme sources majeures (**Environnement,2008**).Leurs caractéristiques sont la persistance, la bioaccumulation, le transport sur une longue distance etc.....

➤ **Composés Organiques Volatiles (COV)**

Les COV sont des composés organiques gazeux à température et pression normales. Ils peuvent être d'origine humaine (raffinage, évaporations de solvants organiques, imbrûlés transport routier...) Ou naturelle (émissions par les plantes). Ce sont des précurseurs, avec les oxydes d'azote, de l'ozone troposphérique. (**Rigo, 2009**).

➤ **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**

Composés de carbone et d'hydrogène, ils comprennent un ou plusieurs anneaux de benzène. Ce sont des Contaminants produits par la combustion de la matière organique. (**Rigo, 2009**).

I.6.2 - Polluants secondaires

Ce sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires, au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Ils sont :

➤ **Ozone O₃**

L'ozone est un polluant secondaire qui se forme à partir du NO₂ et des COV, sous l'effet des rayons solaires (**Koller, 2004**).

➤ **Acide sulfurique (HSO₄)**

L'acide sulfurique est un acide fort résultant des réactions du SO₂ avec l'eau.

➤ **Acide nitrique(HNO₃)**

Sa principale source est le NO₂mais,il est aussi émis en faible quantité par les véhicules diésels.

I.7 - Transfert des polluants de l'atmosphère vers les sols et les eaux

Deux processus sont à l'origine du transfert des polluants de l'atmosphère vers les sols ou de hydrosphère : celui des «dépôts dits secs » et celui des « dépôts humides » (**Ramade, 2007**).

➤ **Dépôts Secs**

Les dépôts secs, s'effectuent en absence de toute précipitation. Les processus fondamentaux qui mènent à des dépôts secs se produisent sous l'effet conjugué de la sédimentation (Désignant le

dépôt des particules les plus grosses sous leur propre poids (force gravitaire)), des impacts par inertie ou des impacts par interception et de la diffusion des polluants par le sol et la végétation. Les trois premiers mécanismes concernent seulement les particules alors que la diffusion concerne les polluants gazeux et particulaires (Malbreil, 1997., Zerrouki, 2013., Mazoue, 1994).

➤ **Dépôts humides**

Le terme « Dépôts humides » désignent généralement le transfert des polluants à la surface des sols, par entrainement ou dissolution. Ce transfert s'effectue soit par dépôt humides, associés aux précipitations (pluie, neige, grêle), soit par dépôts humides occultes associés d'une part à l'impact de gouttelettes de nuage et d'autre part, à la sédimentation de gouttelettes de brouillards. Les dépôts humides par précipitation sont dans l'ensemble les plus importants (Seigneur, 2008).

Les particules solides qu'elles soient sédimentaires ou non, insolubles dans l'eau ou peu solubles, chimiquement réactives, sont ramenées à la surface des terres émergées ou des océans. Ce retour s'effectue soit par gravité, soit par entrainement physique, du fait des précipitations, ou par dissolution dans ces dernières. Quant aux substances gazeuses, elles sont le plus souvent dissoutes par les pluies qui les ramènent à la surface (Ramade 2007).

I.8 - Paramètres influençant la pollution atmosphérique

La dispersion des polluants dans l'atmosphère peut être influencée par des facteurs météorologiques (vents, températures, précipitations) et topographiques (relief).

I.8.1 - Les facteurs météorologiques

La météorologie est un élément essentiel dans l'appréhension des phénomènes de dispersion de la pollution. Des paramètres météorologiques, on tire deux informations : les types de temps favorables ou défavorables à la dispersion des polluants et les types de temps favorables ou défavorables à la leur transformation physico-chimique (Guelle et al, 1998).

➤ **Vent**

C'est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. Il intervient à toutes les échelles tant par sa direction que par sa vitesse qui augmente généralement avec l'altitude. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, il facilite leur dispersion. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution seront bas. Cependant, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (Diaf et al, 2003).

➤ **Température et rayonnement**

Elle influe de plusieurs manières la pollution atmosphérique. Tout d'abord, une faible température entraîne un changement de comportement de la population en favorisant une hausse de

l'utilisation du chauffage urbain et des véhicules, augmentant ainsi les émissions. Par ailleurs, la température agit aussi dans la formation de polluant secondaire (**Guelleet *al*, 1998**).

Le soleil et la variation des températures provoquent des réactions différentes selon les polluants de l'air. Ils peuvent non seulement augmenter la concentration des polluants dans l'air (cas de l'ozone), mais aussi la diminuer par dissociation (tel que les NO_x) (**Atmo, 2011**).

➤ **Précipitations et l'humidité**

Les précipitations contribuent à baisser le niveau de pollution grâce aux gouttes d'eau qui captent les impuretés atmosphériques. (**Bebba *et al*, 2007**)

Avec la pluie, la pollution de l'air tombe et se dépose sur les sols, les végétaux, les façades des constructions ainsi que dans les mers et rivières (pluies acides). La neige a le même effet sur la pollution atmosphérique (**Atmo, 2011**)

L'humidité, non seulement de l'atmosphère mais aussi du sol influence les concentrations des polluants. Elle joue un rôle clé dans la formation des certains polluants comme l'acide sulfurique (brouillard acide) et leur élimination (dépôts humides). (**Bebba *et al*, 2007**)

I.8.2 - Facteurs topographiques

La diffusion des polluants dépend du relief et des concentrations urbaines : cas des vallées, versants, cultures et prairies.

➤ **Vallées**

De par leurs capacités de stagnation de l'air froid, les vallées défavorisent la dispersion des polluants, engendrant ainsi les phénomènes de brouillards et d'inversion thermique (**Arques, 2001 in Bebba *et al*, 2007**).

La température décroît avec l'altitude. L'air chaud contenant les polluants au niveau du sol se disperse verticalement. En condition d'inversion de température ou d'inversion thermique, le sol se refroidit de façon importante pendant la nuit (rayonnement terrestre nocturne notamment). La température à quelques centaines de mètre d'altitude est donc supérieure à celle mesurée au niveau du sol. Les polluants se trouvent alors bloqués sous une "couche d'inversion" qui joue le rôle de couvercle thermique. Si au même moment il n'y a pas de vent, les polluants augmentent dans des proportions importantes (**I.N.S.P, 2007**).

➤ **Versants**

Milieux récepteurs de polluants, les versants sont des obstacles naturels. Plus ils sont redressés, plus les dépôts des polluants sont importants sur la partie où le vent est faible.

➤ **Cultures et prairies**

Elles constituent des obstacles qui retiennent les impuretés par absorption et par réaction avec les feuilles. En temps calme et en absence d'inversion de température, il se forme au-dessus des villes, une «coupole de polluant» résultant de l'apparition des courants qui entraînent à grande altitude les divers polluants émis au niveau du sol (Arques,2001 in Dalal et al, 2007).

I.9 - Effets de la pollution atmosphérique

I.9.1 - Effet de la Pollution atmosphérique à l'échelle planétaire

Les effets de la pollution atmosphérique sont multiples. Parmi ceux-ci, nous avons :

➤ **Effet de Serre et changement climatique**

L'effet de serre est un phénomène naturel de piégeage du rayonnement de chaleur, fait par l'atmosphère et émis par la terre, sous l'effet des rayons solaires (Bourbatache, 2006). Il contribue à l'augmentation de la température de la planète, modifie le climat, d'où le réchauffement climatique qui provoque la fonte des glaciers et la remontée des niveaux de mer. Selon les scénarii, il est prévu une augmentation de température de 2 à 4,5° C au cours de ce XXI^{ème} siècle.

Le phénomène d'effet de serre est accentué par l'émission de substances anthropiques qui sont principalement : le gaz carbonique, la vapeur d'eau, l'hémioxyde d'azote, le méthane etc....

➤ **Trou d'ozone**

Le trou d'ozone se produit, lorsque l'équilibre naturel entre la production de la couche l'ozone et sa destruction est inclinée en faveur de cette dernière. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome, libérés des composés synthétiques tel que les chlorofluorocarbones (CFCs) sont maintenant considérés comme cause principale de l'amincissement de cette couche.

➤ **Effets de la pollution atmosphérique sur les mésoclimats**

A l'échelle régionale, les zones urbaines, fortement polluées présentent une modification sensible de leur méso-climat qui diffère sensiblement de celui des zones rurales voisines.

Tableau I. 1 : Modification du méso climat urbain par la pollution atmosphérique (Ramade ,2007)

Facteurs climatiques	Comparaison de la valeur du facteur en milieu urbain par rapport à celle du milieu rural environnant
Opacité atmosphérique	
<i>Brouillards (smogs)</i>	
Hiver	100% de plus
Eté	30% de plus
<i>Nébulosité</i>	De 5 à10% de plus
<i>Particules</i>	De 10à20% de plus
Précipitation	De 5 à10% de plus
Rayonnement UV moyen	<i>10% de moins</i>
<i>Eté</i>	40% de moins
Températures moyennes	
<i>Annuelles</i>	0,5 à 1°C De plus
<i>Hivernales</i>	1 à 2,5°C de plus
Vitesse du vent	
<i>Moyennes annuelles</i>	20 à 30%
<i>Tempêtes</i>	11à 20%

➤ Création de smog

Le smog est un nuage très dense de pollution, créé à partir des oxydes de soufre, de carbone, de monoxyde de carbone et d'autres types de gaz émis par les véhicules, les usines et les centrales. Il peut causer des effets sanitaires significatifs. On distingue cependant deux type de smog : Les smogs acides causés par la fumée des foyers et les smogs photochimiques, dus au gaz d'échappement des voitures (Zohara et al, 2014).

I.9.2 - Conséquences éco-toxicologiques de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique exerce potentiellement une influence néfaste sur l'espèce vivante propre aux écosystèmes terrestres en particulier, les plantes et les animaux. Ainsi la contamination de l'airpeut souvent provoquer de véritables bouleversements biocénotiques, aux conséquences parfois désastreuses pour l'agriculture (par diminution des rendements de culture), l'élevageet au plan sylvicole (Ramade, 2005).

I.9.2.1 - Acidification et eutrophisation

➤ **Eutrophisation**

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables, issus de l'activité humaine. Ils sont principalement le phosphore et l'azote, le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive.

➤ **Les Pluies Acides**

Terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acides (pluies, neige, grêles, brouillard). Le SO₂, NO_x, acides chlorhydriques, l'ammoniac des activités agricoles sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels, qui provoquent l'acidification des pluies dont le PH est toujours acide de l'ordre de 5,6. Ceci se répercute par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, par la dégradation des pierres et des édifices des monuments ou façades d'immeuble (**Elichegaray, 2008., Lefevre, 2004**).

I.9.2.2 - Impact de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes forestiers

Les végétaux, tant cryptogames que phanérogames sont particulièrement sensibles à de nombreux aéropolluants, sans omettre les effets des précipitations acides (**Ramade, 2005**). A certaine concentration des polluants dans l'air peuvent provoquer des nécroses visibles sur les végétaux comme le brunissement de leurs feuilles (fluor ou l'ozone). Il est possible de constater une réduction de la croissance des plantes sans qu'il n'ait de dommages visibles. Les effets sont variables d'une espèce à l'autre en fonction des polluants (**COPEP, 2005 in Zohara, 2014**). Ainsi ces différents impacts sur ces écosystèmes conduisent cependant à un risque de déséquilibre de l'écosystème.

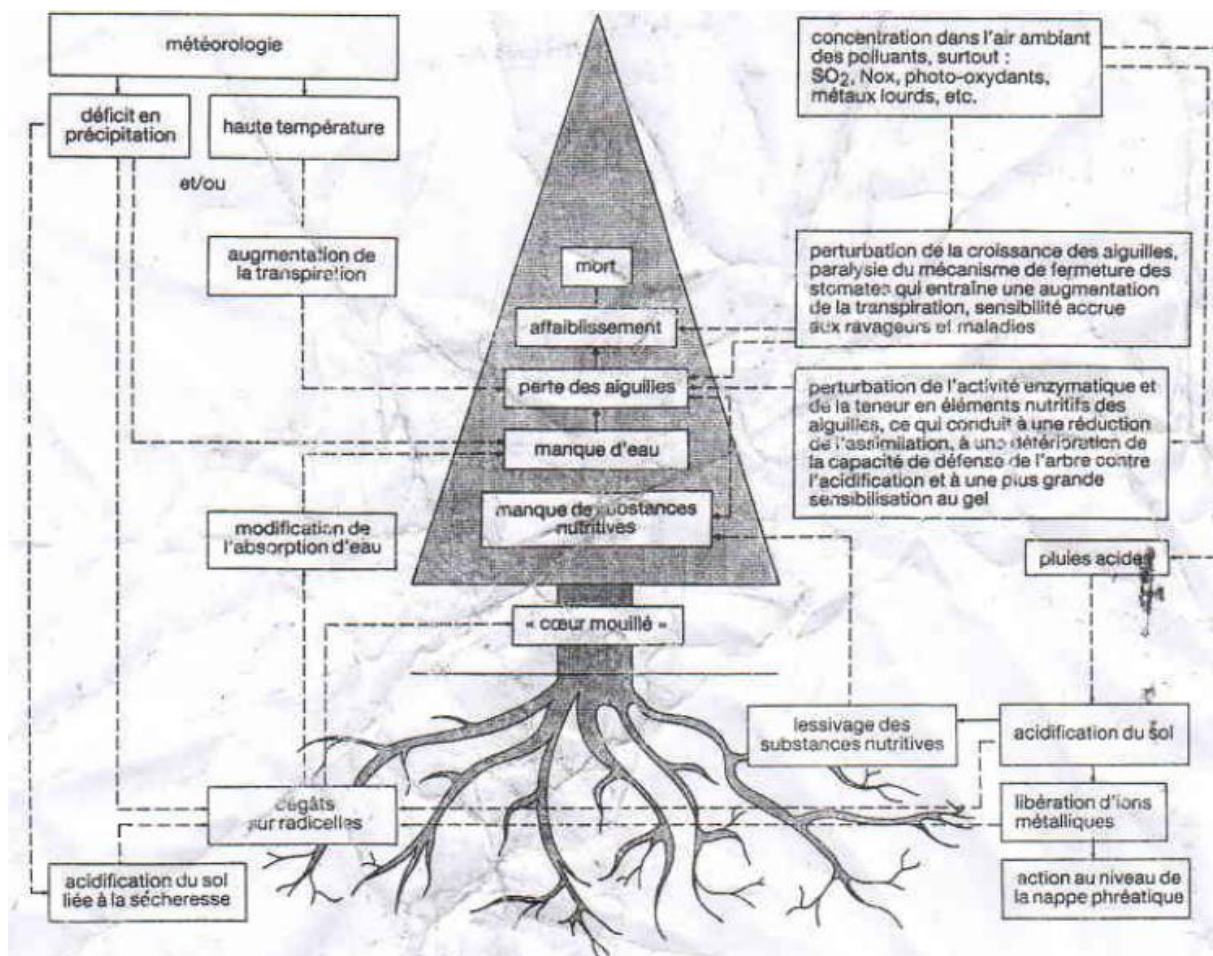


Fig.I. 2 : Les effets physio-toxicologiques des pluies acides, et des aéropolluants sur les forêts (Ramade, 2005).

I.9.2.3 - Impact de la pollution de l'air sur la santé humaine

Les effets néfastes de la pollution atmosphérique ont été mis en évidence par des études épidémiologiques. Les effets sont classés en deux groupes, Les effets à court terme et Les effets à long terme (Yamani, 2006). Ces polluants atmosphériques pénètrent dans l'organisme par 3 voies possibles: les voies respiratoires (inhalation), les voies digestives et les voies cutanées (Mchkone et al, 2010).

Tableau I. 2: Principaux indicateurs de la pollution atmosphérique mesurée et leurs effets sur la santé (Yamani, 2006).

Polluants atmosphériques	Effets sur la santé
Le dioxyde de soufre SO ₂	Irritant respiratoire, contribue à l'exacerbation des troubles bronchiques.
Les oxydes d'azote NOX (NO et NO ₂)	Irritations de l'appareil respiratoire, crises d'asthme et bronchiolite. Réduit le pouvoir oxygénateur du sang. Une augmentation de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes. A certaines concentrations ils entraînent une inflammation importante des voies respiratoires
Le monoxyde de carbone CO	Atteinte du système nerveux central et des organes sensoriels.
L'ozone O ₃	Polluant irritant des yeux de la gorge, des bronches et des poumons, peut altérer la fonction respiratoire et la résistance aux infections, la toux, augmentation à court terme de la mortalité et des hospitalisations (Joanna Forel, 2014), apparition de réaction allergique (Edwige Bertrand et al ou invs2006)
Les particules en suspension (PM ₁₀ et PM _{2.5})	Irritant très actif par altération des fonctions respiratoires, crises d'asthme avec à long terme des bronchites chroniques, cancer du poumon. Au niveau cardiovasculaire : excès de mortalité par infarctus, et ischémie myocardique, augmentation de l'incidence des Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC), décès prématuré(Forel,2014)
Les Composés Organiques Volatils – COV (hydrocarbures, benzène, les aromatiques, les oléfines, aldéhydes...)	Irritant des yeux, des muqueuses et des poumons Peuvent engendrer des bronchites par intoxication chronique. A long terme, ils seraient responsables de cancers
Polluants organiques persistants	Cancers et tumeurs, troubles du système nerveux, déficiences du système immunitaire, stérilité et modification de comportements sexuels, diminution de la production de lait chez les mères, augmentation des maladies type diabète.

Selon une publication de l'OMS en mars 2014, A l'échelle mondiale, les principales causes de décès liés à la mauvaise qualité de l'air sont dues aux pathologies représentées schématiquement ci-dessous.

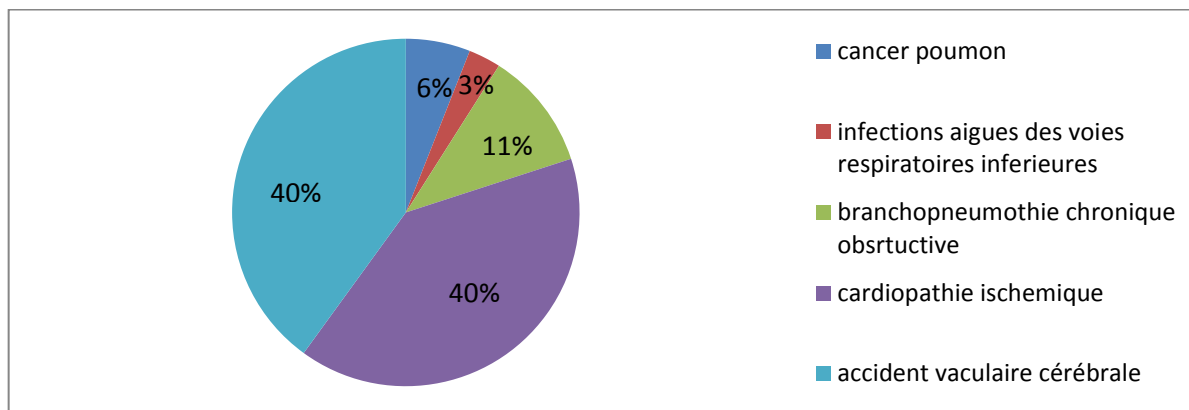


Fig.I. 3: Répartition du nombre de décès par pathologie, exprimée en pourcentage attribuable à la pollution de l'air extérieur (OMS 2014).

I.10 - Règlementation Algérienne et norme de pollution atmosphérique

D'une manière générale la règlementation des polluants atmosphérique doit contenir les concepts fondamentaux suivants :

- Le polluant réglementé
- La durée d'exposition
- La forme statistique de la règlementation
- Le seuil
- l'emplacement des stations de mesures

➤ **Règlementation mise en place en Algérie**

Ainsi se présente les différents types de valeurs définies par l'état Algérienne vis-à-vis de la règlementation relative aux polluants atmosphériques.

- ✓ **Objectif de qualité**
- ✓ **Valeur limite**
- ✓ **Seuil d'information et de recommandation**
- ✓ **Seuil d'alerte (J.O.R.A.D.P, 2006)**

I.10.1 - Législation et norme de rejet nationale

En Algérie la qualité de l'air est surveillée par le réseau de surveillance SAMASAFIA, qui est composé de quatre réseaux de surveillance implantés aux chefs-lieux et à la périphérie des

wilayas d'Oran, Alger, Skikda et Annaba. Chaque réseau est composé de quatre stations de surveillance (ONEDD, 2011).

En effet plusieurs conventions, lois, décrets nationaux réglementent la pollution de l'air.

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

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

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

L'Art. 4. -La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'observatoire national de l'environnement et du développement durable(ONEDD). Elle s'effectue selon les modalités techniques fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

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

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

Tableau I. 3: norme des valeurs limites et objectif de qualité de l'air fixé par l'Algérie.

	Dioxyde d'azote $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Dioxyde de soufre $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Ozone $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Particules fine en suspension $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Objectif de qualité	135	150	110	50
Valeur limite	200 (centile98)	350 (centile99,9)	200	80

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

Art. 8. Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixes comme indique le tableau I.4.

Tableau I. 4: norme de seuil d'information et seuils d'alerte fixé par l'Algérie

	Dioxyde d'azote $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Dioxyde de soufre $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Ozone $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Particules fine en suspension
Seuil d'information	400	350	180	Selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules concernées.
Seuil d'alerte	600	600	360	Les seuils d'alerte sont fixés, Le cas échéant, par arrêté conjoint du ministre

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

Chapitre II

Pollution atmosphérique par les métaux lourds

II - Pollution atmosphérique par les métaux lourds

II.1 - Définition des métaux lourds

Les métaux lourds encore appelés éléments traces, éléments traces métalliques (ETM), oligoéléments etc..., peuvent être défini de différentes manières, selon le contexte de l'étude à réaliser ainsi que son objectif. Ce terme est souvent employé dans le langage courant pour évoquer une contamination métallique, ou pour désigner des composés naturels à très faibles concentrations (1‰ dans la croûte terrestre ou 0,1‰ dans les êtres vivants) (**Djabine, 2005**).

II.2 - Sources des éléments traces métalliques

Les métaux lourds sont des éléments naturels, présents dans tous les compartiments de l'environnement: air, eau, sols (Miquel, 2001). Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par les sources naturelles et humaines (**Anfossi et al, 1997**).

II.2.1 - Les sources naturelles d'éléments traces métalliques

Les réserves les plus importantes de métaux lourds se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques. Toutefois, l'activité volcanique libère dans l'atmosphère des poussières et des particules très fines pouvant se déplacer sur de très longues distances. Comme tout minerai, les métaux lourds, sont diffusés dans tous les compartiments de l'environnement via des transferts, notamment l'érosion. (**Miquel, 2001**).

II.2.2 - Les sources anthropiques

L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère(**Miquel, 2001 in Varrault, 2012**).

En raison de leurs propriétés physiques et chimiques, les métaux ont été et sont encore largement présents dans un grand nombre d'activités industrielles et domestiques (**Davis et al, 2001.,Varrault, 2012**).

II.3 - Classification des éléments des métaux lourds (traces métalliques)

Dans un milieu naturel, les éléments traces métalliques peuvent être classés en deux catégories :

La première rassemble les éléments qui, présents à l'état de trace sont essentiels à la croissance, au développement voire à la reproduction des organismes vivants, aussi bien micro que macroscopiques. Parmi eux il faut citer : Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Mo, Se, Sn. Lorsque la concentration de ces éléments est trop faible, un phénomène de carence est

donc observable pour ces organismes. Pour autant, une augmentation forte de la concentration en ces éléments métalliques peut aboutir à des phénomènes de toxicité.

La seconde catégorie est quant à elle constituée d'éléments métalliques toxiques, non nécessaires à la croissance des organismes vivants, tels que le cadmium, le plomb, le mercure d'où la classification des principaux métaux lourds selon leur densité et leurs toxicités (tableau II.1).

Tableau II. 1: classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité d'après (Bliefert et al,2003 in Djabine, 2005).

Métaux	Plantes	Animaux	Densité (g /cm ³)
Cd	T	T	8,65
Cr		E	7,20
Cu	ET	ET	8,92
Ni	T	E	8,90
Pb	T	T	11,34
Zn	ET	E	7,14
Mn	ET	E	7,20

T=Toxique ; E=Essentiel

II.4 - Caractéristique Généraux des éléments traces métalliques

Les ETM ont en commun les caractéristiques suivantes :

- Structure cristalline à température ambiante, à l'exception du mercure qui est liquide,
- Aspect brillant, ductilité et malléabilité,
- Électrons de conduction faiblement liés, d'où une propension à former des cations et des liaisons ioniques,
- Bonne, voire excellente conductivité thermique et électrique. (Sirven, 2006)
- Non dégradable, ni chimiquement ni biologiquement
- masse volumique forte: supérieure à 5g/cm³

II.5 - Impact des métaux lourds (Éléments trace métalliques)

II.5.1 - Impact sur la Santé

Quand ils ne contaminent pas les eaux souterraines par lessivage, les éléments traces métalliques, non dégradables dans le sol, s'y accumulent puis pénètrent dans les consommés par les plantes et les animaux, l'homme y compris, pour lequel, l'inhalation de poussières et d'aérosols reste la principale source d'intoxication. Cependant, les risques liés à l'absorption

de métaux lourds par ingestion d'eau ou de nourriture ainsi que par voie dermique, qui intervient en cas de contact direct avec les substances, ne sont toutefois pas négligeables.

Par ailleurs, quel que soit le mode de contamination, les éléments s'accumulent dans l'organisme: sang, foie, cerveau, reins etc...et ne sont éliminés que très lentement.

Le tableau II.2 : montre, par ordre croissant, la demi-vie biologique de quelques métaux dans l'organisme. Celle-ci s'étale de quelques jours (pour le molybdène) à plusieurs années (pour le chrome, le zinc ou le cadmium).

Tableau II. 2: Temps de demi-vie biologique de quelques éléments (Sirven, 2006)

Élément	Temps de demi-vie biologique
Mo	5 jours
Cu	13-33 jours
Mn	15-20 jours
Pb	20-30 jours dans le sang 40-60 jours dans les reins, la moelle, le foie, le cerveau (2-10 ans dans les os)
Hg	30-60 jours (1 an dans le cerveau)
Cr	1-2 ans
Co	2-15 ans
Zn	2-3 ans
Cd	30 jours dans le sang 20-30 ans dans le rein

Il est à noter que la plupart des métaux lourds, suite à une absorption importante, provoquent des troubles respiratoires et digestifs (diarrhées, vomissements, douleurs abdominales), pouvant être extrêmement graves, jusqu'à entraîner la mort.

Les effets connus de certains métaux lourds sur l'organisme humain sont précisés dans le tableau II.3. On y fait la différence entre les effets chroniques, apparaissant plus de six (6) mois après l'absorption de petites ou très petites quantités et les effets aigus, apparaissant quelques jours au maximum après une absorption unique de substance. Notons que les effets toxiques ne sont pas nécessairement irréversibles.

II.5.2 - Impact sur l'environnement

▪ Au niveau du Sol

Les métaux lourds ont l'inconvénient majeur de n'être pas dégradables par des processus chimiques ou biologiques dans le sol, on parle de persistance des métaux. Ils ne sont susceptibles que de changer de forme et de passer d'un compartiment du sol à un autre au gré de ces transformations (Sirven, 2006). Ils peuvent être soit fixés dans les roches et les

sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes et n'ont aucune signification sur l'environnement. Lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors, une menace directe pour l'environnement, du fait de l'augmentation de leur disponibilité pour les plantes. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (**Stéphanie et al, 1997**).

- **Au niveau de l'air**

Les métaux lourds se dispersent dans les hautes couches de l'atmosphère et retombent ailleurs, après un transport sur de très longues distances. Ils peuvent se trouver principalement sous deux formes dans l'air, à savoir : la forme gazeuse pour certains composés métalliques volatiles et la forme de composés métalliques solides, déposés sur les très fines particules ou poussières formées lors des phénomènes de combustion.

Principalement, la contamination de l'air par les métaux se fait via des sources fixes. Les métaux lourds sont transportés par des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques et véhicules. Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules. Dans l'air ambiant, se trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines (**Anfossi et al, 1997**).

- **Au niveau aquatique**

Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins. Le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes, tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présenter des dangers pour le consommateur de produits marins, du fait de leur possibilité de concentration dans les espèces marines, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique (**MATET,2012 in Bendada et al, 2011**).

Tableau II. 3: Toxicité des principaux métaux lourds (Sirven, 2006)

Légende: (C) = toxicité chronique, (A) = toxicité aiguë, (?) = suspecté cancérigène

Él ^{ts}	Formes plus toxiques	Cancérigène	Toxique Pour la reproduction	Troubles Respiratoires	Troubles digestifs	Troubles Rénaux	Troubles neurologiques	Lésions (C)	Irritations (A)	Autres
As	Inorganiques	Oui			A		C	Moelle osseuse, sang, foie	Muqueuses	Troubles circulatoires (A)
Cd	inorganiques (chlorure/oxyde de Cd)	Poumon, prostate, foie	Oui	AC	A	A		reins		Ostéoporose (C)
Co		poumon ?		C	C					troubles cardiaques (C)
Cr	inorganiques (Trioxyde de Cr)	poumon	Oui	C	AC				Muqueuses Respiratoires	
Cu	solubles	?		A	AC	A			Muqueuses	Troubles hépatiques (C)
Hg	Méthylmercure	Méthylmercure?	Méthylmercure ?		A	AC	AC	Reins A		Troubles du Comportement (C),, asphyxie (A)
Ni	organiques (nitrocarbonyle)	Poumon (composés inorganiques)		AC	A				Peau(AC)	
Pb	organiques	reins,Poumon (chromates arséniate)	Oui	C		AC	AC			Troubles du Comportement (C), anémie (C)
V	Pentaoxyde de vanadium			A	A			Reins, Foie	Muqueuses respiratoires, peau	Anémie (C)
Zn	Composés solubles (sels)				A					Anémie (C)

II.6 - Norme et réglementation

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), La Directive Européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008, relative à la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe regroupe la directive cadre 96/62/CE et les directives filles 1999/30/CE, 2000/69/CE, 2002/3/CE et 2004/107/CE. Cette dernière, datant du 15 décembre 2004, concerne l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.

La réglementation algérienne à travers le décret exécutif n° 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 15 avril 2006, émet des recommandations pour de nombreux

polluants sur les valeurs limites réglementaires en métaux lourds (Tableau II.4) Ainsi le tableau II.4 donne, les différentes valeurs limites référence recommandée (ASPA, 2001 et Scal air, 2011).

Tableau II. 4 : Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air

Métal	Valeurs guides OMS ng/m ³	Directive européenne ng/m ³	Règlementation Algérienne mg/Nm ³
Cr	-	6	-
Cd	5	5	0,25
Mn	-	-	5
Ni	20	20	5
Pb	500	900	-
Hg	-	50	-
As	-	6	1
Zn	-	-	5

Chapitre III
Biosurveillance
de la Qualité de l'air

III - Biosurveillance de la qualité de l'air

III.1 - Généralité sur la biosurveillance

III.1.1 - Définitions

III.1.1.1 - Biosurveillance

La biosurveillance est l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique), d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes, pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement, pour en suivre l'évolution (**Haluwyn, 2009**).

III.1.1.2 - Biosurveillance de la qualité de l'air

C'est l'utilisation d'organismes vivants permettant d'observer et d'analyser les réactions de ces derniers, exposés de façon plus ou moins chronique à des polluants atmosphériques, afin de les quantifier et de déterminer leurs impacts sur lesdits organismes (**AREHN, 2004**).

III.2 - Les différentes approches de la biosurveillance

On distingue deux approches de la biosurveillance

III.2.1 - Biosurveillance dite sensible

Cette biosurveillance utilise les organismes qui répondent aux stress causés par la pollution. La mesure de cette sensibilité définit trois concepts :

➤ **biomarqueur**

Changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (**Haluwyn et al 2011 in Lagadic et al, 1997**). Il se place au niveau infra-individuel. Le polluant provoque une altération non visible à l'œil nu telle que: la perturbation de la photosynthèse, de la respiration etc...(Bernard et al, 2004 in Gonzalez et al, 1997).

➤ **bio-indicateur**

Effets observables au niveau individuel, se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques visibles à l'œil nu (croissance et reproduction) (**Haluwyn et al, 2011**). Exemple: changement de couleurs des tissus comme l'altération de nécrose de plan de tabac suite à une exposition à l'ozone. (**Bernard et al, 2004 in Saitanis et al, 2001**)

➤ **Bio-intégrateur**

Se situe au niveau populationnel et/ou communautaire, appréciation de la variabilité densitaire et/ou spécifique dans des populations ou des écosystèmes. » (**Haluwyn et al 2011**).

III.2.2 - Biosurveillance par accumulation

Le concept de bio-accumulateur se distingue totalement des trois précédents, en ce sens qu'il n'est pas un indicateur de réaction. Dans ce cas de biosurveillance par accumulation, l'organisme utilisé sert principalement de matrice pour le dosage de différents polluants, suite à des mécanismes de transfert et d'accumulation. C'est une méthode qui permet d'étudier l'imprégnation de l'environnement par les polluants et de suivre l'évolution (spatiale et temporelle) de cette imprégnation (Haluwyn *et al*, 2011).

Un bioaccumulateur doit répondre aux particularités suivantes :

- Accumuler le(s) polluant(s) sans disparaître;
- Fournir suffisamment de tissus pour l'analyse ;
- Présenter une concentration tissulaire du polluant, représentative du niveau de contamination de l'environnement.

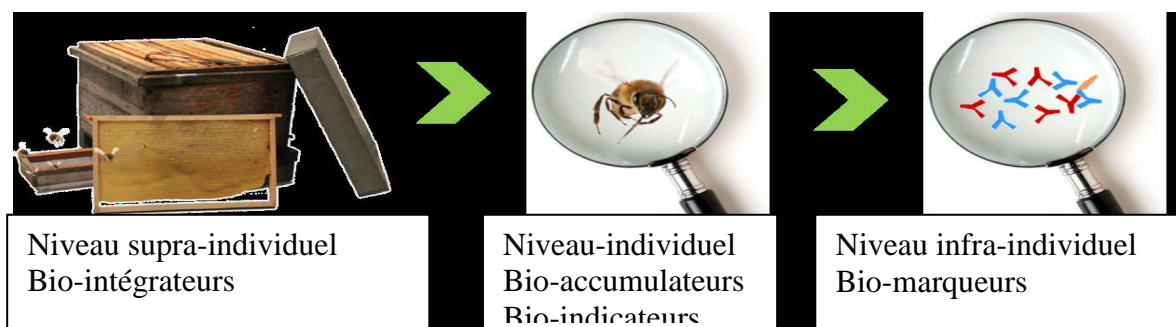


Fig. III. 1: Schéma conceptuel de la biosurveillance

III.3 - Stratégie de mise en œuvre de la biosurveillance

On distingue deux stratégies de mise en œuvre de la biosurveillance :

➤ Stratégie passive (in situ)

C'est l'utilisation d'organismes déjà présents sur le site (organismes indigènes). Elle présente l'avantage d'être rapide. Les végétaux ayant déjà été exposés aux polluants, il ne reste plus qu'à les collecter et les analyser. On doit cependant, veiller à ce qu'ils aient :

- Une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentative de la zone étudiée,
- Une saisonnalité compatible avec les objectifs de la campagne de mesure,
- Un mode de collecte facile.

➤ Stratégie active (méthode des transplants)

La méthode des transplants est utilisée lorsque la précédente (in situ) n'est pas envisageable (absence d'organismes correspondants aux critères de l'étude). Elle nécessite plus de temps.

En effet il faut laisser le temps aux transplants (organismes provenant d'une zone «saine») d'accumuler les polluants présents dans leur nouvel environnement. Cette phase d'exposition peut être plus ou moins longue selon le type d'organisme choisis et le polluant étudié (Haluwynet *al*, 2011).

Tableau III. 1: Comparaison entre les deux méthodes

In situ	Transplants
Les résultats obtenus en quelques jours.	temps d'exposition plus long (plusieurs semaines).
résultats démontrant la pollution des années précédentes.	résultats illustrant la pollution pendant la période d'exposition.
niveaux accumulés sont habituellement au-dessus des limites de détection (temps d'exposition plus long).	Les concentrations accumulées peuvent être indétectables sur une période d'exposition trop courte.
Faible surveillance, peu de risques de Vandalisme.	Risque potentiel de vandalisme.
Coûts liés aux transports vers les sites de prélèvement et aux analyses chimiques.	Coûts supplémentaires relatifs aux matériaux et au temps de préparation des transplants avant exposition.
Utilisation d'espèces indigènes	Possibilité du choix du site et de l'espèce
Manque potentiel d'échantillons indigènes pour obtenir une couverture géographique suffisante.	La densité des points de prélèvement, le nombre de transplants et les conditions d'étude sont contrôlées.
Manque d'échantillons dans la zone d'étude	Utilisation de transplant
Taux de dépôt de pollution difficiles à estimer.	Les taux de dépôt sont calculés à partir du temps d'exposition qui est contrôlé.
Les concentrations reflètent les influences d'autres facteurs tels que l'âge de la plante, la teneur en métal du substrat et la contamination locale.	Les concentrations des polluants dans les transplants peuvent être plus directement liées à la pollution atmosphérique.
Les plantes peuvent être soumises à un stress qui affecte l'absorption (exposition à certains polluants sur long terme).	Les transplants sont originaires d'environnement sain.

III.4 - Place de la biosurveillance par rapport aux méthodes physico- chimiques

III.4.1 - Méthodes Physico-Chimiques

La surveillance de la qualité de l'air est assurée le plus souvent en milieu urbain par un réseau de capteurs physico-chimiques qui, mesurent parfois en continu les concentrations des différents polluants atmosphériques. Les appareils sont les seuls outils capables de donner des valeurs de concentration atmosphériques, ils ne fournissent pas d'informations sur les transferts de polluants vers Le milieu récepteur final, l'eau, le sol et les plantes. (**INSEM 2000**). Cependant, une valeur de concentration ne renseigne pas à elle seule sur les effets du/des polluants. (**CUNY, 2014**).

III.4.2 - Place de la biosurveillance

Depuis quelques années, on assiste au sein des réseaux de surveillance de la qualité de l'air, au développement de la biosurveillance. Ils constituent un moyen d'évaluation des pollutions là où il n'y a pas de capteurs. Ils permettent de réaliser les cartes des zones touchées par la pollution. La biosurveillance complète les méthodes physico-chimiques. Elle a l'avantage d'être relativement simple à mettre en œuvre et peu coûteuse. Elle apparaît, en plus, comme un bon outil de communication doublé d'un support pédagogique (**AREHN, 2004**). La biosurveillance apporte d'une façon générale, la notion d'effet et de risque (**Cuny, 2014**).

les végétaux qui servent le plus souvent de bioindicateurs sont en général faciles à observer, ils s'agit-là entre autre des lichens ,des végétaux supérieurs ainsi que des bryophytes(mousses) qui sont employé spécifiquement ou non pour un grand nombre de polluants(ozone, oxydes d'azote, HAP, dioxine, pesticides et spécifiquement pour la détection des ETM atmosphérique (**Benard,2007**).

Chapitre IV

Bryophytes - Mousses

IV - Bryophytes - Mousses

IV.1 - Généralités sur les bryophytes

D'après **leblond et al, 2011**, nous devons ce terme bryophyte à Alexandre BRAUM, un botaniste allemand, qui l'invente en 1864, en accolant deux mots grecs : *bryo* (mousses) et *phytos* (plante), dont on connaît 25000 espèces dans le monde.

Les bryophytes constituent un embranchement bien défini et homogène. Ce sont des plantes terrestres de petite taille, habitants le plus souvent les stations humides. Leurs appareils végétatifs, dont la morphologie est variable, présentent une structure très simple, puisqu'on n'y trouve ni racine, ni lignine, ni vaisseaux conducteurs.

Les bryophytes se regroupent en trois classes, d'importances très inégales et qui se distinguent par les divers caractères de leur appareil et leurs reproductions :

- **les mousses (*Bryophyta*)** dont l'appareil végétatif a toujours l'aspect d'une plante feuillée;
- **les hépatiques (*Hepaticophyta*)** dont certaines présentent des feuilles alors que pour d'autres l'appareil végétatif a l'apparence d'un thalle ;
- **les anthocerotales (*Anthocerotophyta*)** petit groupe à appareil végétatif également thalloïde (**boué, 1980**).

Le cycle de reproduction se subdivise en :

- **reproduction sexuée**, présentant une alternance régulière de deux phases :
 - une phase haploïde constituant une plante chlorophyllienne autonome, donnant naissance aux gamètes qui est donc le gamétophyte.
 - une phase diploïde, produisant par méiose des spores qui sont donc des tétraspores et constituant le sporophyte qui se développe, tout en étant fixé sur le gamétophyte, reste en partie tributaire de celui-ci pour sa nutrition.
- **Reproduction asexuée ou végétatif**



Fig. IV.1: cycle de vie des bryophytes (d'après vanderpoorten et al, 2009 in FOAN, 2012)

IV.2 - Mousses

IV.2.1 - Définition

Présentes dans le monde entier, les mousses sont les bryophytes les plus répandues. Petits végétaux dépourvus de racines et de vaisseaux conducteurs, elles ne mesurent en général pas plus de quelques centimètres et poussent souvent sur les troncs d'arbres morts ou vivants sur, le sol, les roches, l'écorce des arbres, dans les marais et les eaux peu profondes (APPANPC, 2008).

IV.2.2 - Origine

Les fossiles de mousses les plus anciens datent du Carbonifère supérieur (environ 350-320 millions d'années) mais d'après la phylogénie moléculaire, les bryophytes seraient apparues pendant l'Ordovicien (environ 490-440 millions d'années) (Newton *et al*, 2007). Les mousses sont donc apparues avec les premiers colonisateurs du monde terrestre, il y a plus de 400 millions d'années. (FOAN, 2012).

IV.2.3 - Classification

La classe des mousses est divisée en trois(3) ordres :

➤ **Bryales**

Très nombreuses sous tous les climats, elles constituent la majorité des mousses. Caractérisées par le développement du pédicelle, du sporogone, elles comprennent plus de six cents genres et près de treize mille espèces.

➤ **Sphagnales**

D'assez grande taille, les sphaignes comportent de nombreuses espèces formant des colonies parfois très vastes sur sol marécageux. Elles sont le constituant essentiel de l'association végétale désignée sous le nom de «tourbières à sphaignes». Ordre constitué par un seul genre sphagnum, au sporogone sans pédicelle mais muni d'un opercule.

➤ **Andraeales**

Également formé par un seul genre Adraea, au sporogone sans pédicelle et dont la capsule s'ouvre par quatre fentes longitudinales. Il se rencontre sur les roches siliceuses, en montagnes surtout. Il montre de façon juxtaposé, des caractères de bryales et d'autres, appartenant aux sphagnales. Bien que les trois groupes soient sans doute issus d'un même groupe originel, ils se distinguent les uns des autres

IV.2.4 - Caractéristiques anatomique et morphologique des mousses

Les gamétophytes des mousses sont qualifiés de «feuillus», car ils possèdent une structure simple en forme de tige, qui portent de nombreux appendices semblables à des

feuilles (une à trois cellules dépourvue de cuticule), disposées sur les tiges suivant une symétrie radiale. Cependant, il ne s'agit pas véritablement de tiges ni de feuilles au sens propre, car ces structures ne sont pas formées de cellules conductrices recouvertes de lignine. Cela implique qu'elles ont besoin d'humidité ambiante puisqu'il n'y a pas chez elles de transport de l'eau qu'elles doivent donc absorber par toute leur surface (Nardin, 2000, Campbell et al, 2002, ZOHRA et al, 2014, Douin, 1986). Les tiges sont fixées aux sols par de minces filaments incolores ou brunâtres, les rhizoïdes (figure IV.2) (Boué, 1980).

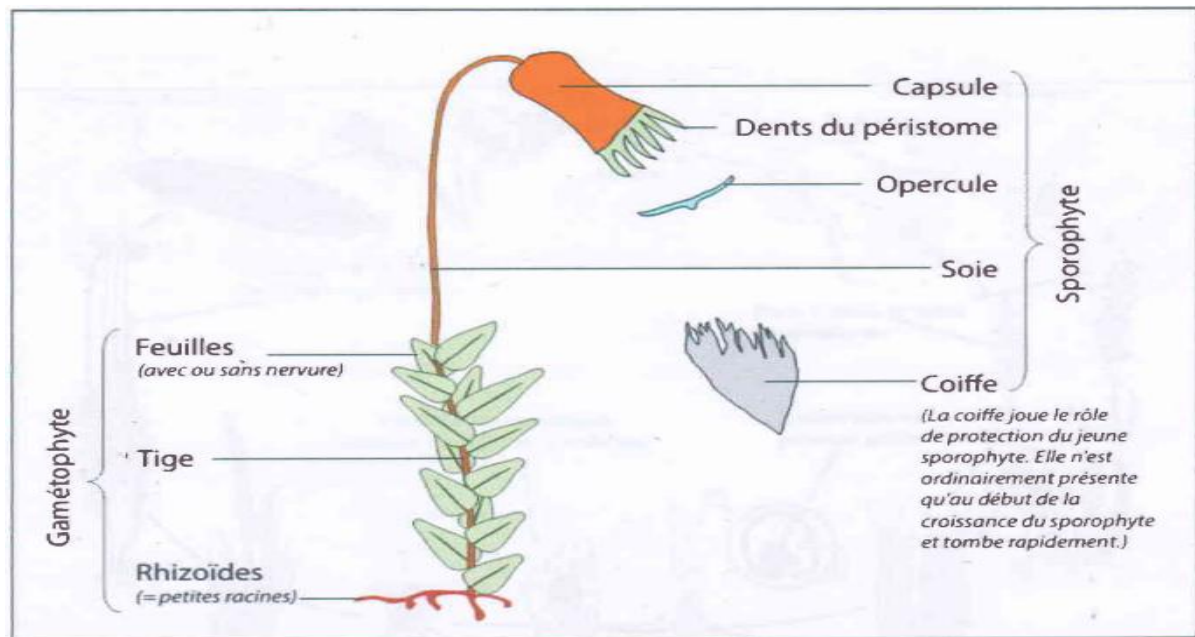


Fig.IV. 2: morphologie d'une mousse (Laurent, 2012)

IV.2.5 - Processus physiologique impliqué dans le développement des mousses

➤ Tolérance à la sécheresse

La teneur des mousses en eau est fonction de l'humidité du milieu. Elles peuvent absorber jusqu'à 15 fois leur masse sèche en eau. Pourtant, elles peuvent tolérer une déshydratation presque complète (jusqu'à ce que la teneur en eau soit inférieure à 10% de la masse totale). Cela s'explique par le fait qu'en l'absence d'humidité, l'activité physiologique est suspendue et n'est reprise que lors de la réhydratation des mousses (Vander et al, 2009 in FOAN, 2012).

➤ Tolérance à la lumière

En ce qui concerne la luminosité, les mousses sont généralement habituées à des milieux assez sombres (optimum à 20% de l'intensité lumineuse maximale). Cela leur permet de limiter les pertes par évaporation tout en assurant une photosynthèse suffisante. Une intensité

lumineuse forte induit un stress oxydatif qui décolore les pigments et endommage les mousses. Il existe donc des mécanismes de photo-protection pour dissiper l'excès d'énergie.

➤ **Tolérance aux températures extrêmes**

Au-delà des températures optimales qui se situent entre 15 et 25 °C, il existe des mécanismes de protection de courte durée, grâce à des protéines de stress appelées protéines de choc thermique (heatshockproteins) (**Vanderpoorten et al, 2009 in FOAN, 2012**).

➤ **Protection contre les agressions microbiennes**

Les mousses synthétisent des polymères polyphénoliques, similaires à la lignine qui joue un rôle de protection contre les micro-organismes (**Campbell et al, 2002., Poorten et al, 2009 in FOAN, 2012**).

IV.2.6 - Caractéristique écologique des mousses

Grâce au vent et à la légèreté de leurs spores, les bryophytes se sont disséminées sur toute la planète. Ces plantes sont particulièrement abondantes et diversifiées dans les forêts humides, comme les forêts alpines, boréales, tempérées ou tropicales, ainsi que dans les milieux humides (tourbières). On trouve même des mousses dans des milieux aussi hostiles que les sommets des montagnes, la toundra arctique et antarctique et les déserts (**Campbell et al, 2002 in FOAN, 2012**).

En plus d'être présentes dans tous les habitats terrestres du globe, les mousses sont capables de croître sur une multiplicité de substrats: sols, roches, écorces, bois morts... Elles sont ectohydriques, c'est-à-dire qu'elles absorbent l'eau par l'intégralité de leur surface.

Les mousses sont peu consommées comme aliments, car elles sont peu digérables du fait de la présence de composés polyphénoliques qui réduisent l'efficacité des enzymes digestifs.

Raison pour laquelle ces dernières sont de bons outils de biosurveillance (**Vander poorten et al, 2009 in Louise Marie FOAN, 2012**).

IV.2.7 - Caractéristiques des mousses utilisés en biosurveillance

La majorité des études de qualité de l'air fondées sur l'analyse de mousses utilisent des mousses pleurocarpes comme bioindicateurs, car ces dernières ont une croissance végétative ininterrompue, du fait qu'elles possèdent de nombreuses branches secondaires sur lesquelles se situent les organes sexuels (croissance monopodiale). Toutefois, les mousses pleurocarpes sont sensibles à la pollution et à la sécheresse. Elles sont donc rares voire absentes en milieu urbain.

Il arrive que les mousses acrocarpes (figure IV.3), qui ont une croissance limitée, car l'apex des tiges devient le sporophyte (croissance sympodiale), présentes sur les murs en brique ou en pierre soient utilisées pour les études en milieu urbain (Burton et al, 1990, 2012, FOAN).

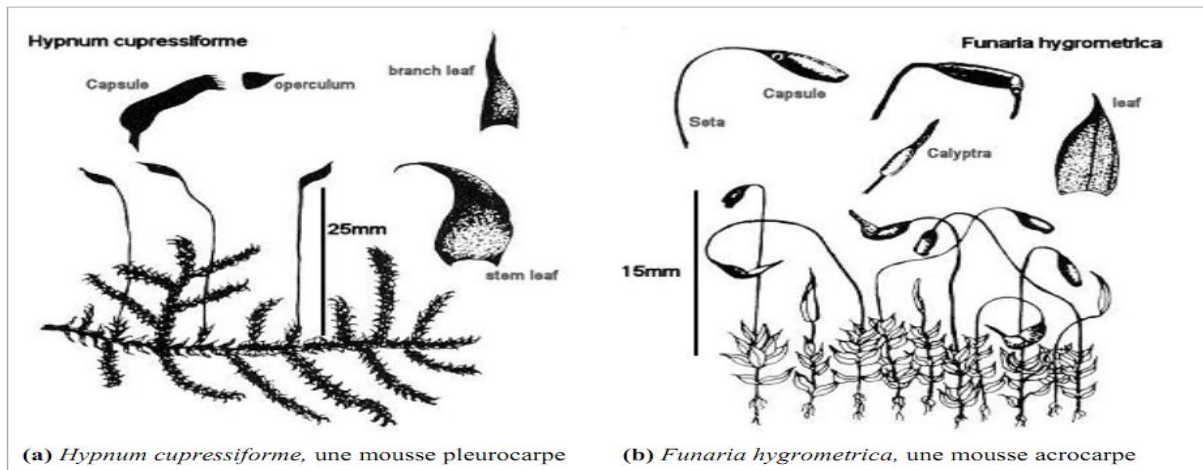


Fig.IV. 3 : Exemples de mousses pleurocarpes et acrocarpes

IV.2.8 - Mousses et environnement

Les mousses jouent un rôle important dans l'épuration de l'air. Elles accumulent certains polluants résilients ou non biodégradables (métaux lourds et radionucléides). Certaines mousses sont des organismes pionniers très importants dans plusieurs processus de résilience écologique. Certaines espèces pourraient être considérées comme des bioindicateurs, notamment, en matière de qualité thermohygrométrique de l'air. De par leur résistance naturelle à de nombreux polluants, les mousses sont de bon bio-accumulateurs. Elles peuvent permettre de cartographier les retombées de pollution (elles sont utilisées par exemple pour cartographier des pollutions par le plomb, le cadmium, l'arsenic et d'autres métaux lourds) (Signal ET AL ,2008 et Ramade, 1995).

Partie II

Expérimentale

Chapitre V

Présentation de la Zone d'étude

V - Présentation de la zone d'étude

V.1 - Présentation de la wilaya de Tlemcen

V.1.1 - Situation géographique

La wilaya de Tlemcen se situe à l'extrémité nord-ouest du pays et fait partie intégrante de l'Oranie occidentale. Elle s'étend du littoral au Nord, à la steppe au Sud et dispose d'une façade maritime de 120 km. Sa superficie est de 906 100 ha, soit 9 061 km², avec 1814 hectares pour l'agglomération. La wilaya de Tlemcen est classée 21^{ème} sur le plan national. Sur le plan administratif, elle regroupe 20 Daïras et de 53 communes. Le Chef-lieu de la wilaya est située à l'Ouest de la capitale Alger, à 589 km.

Elle est limitée :

- au Nord par la mer Méditerranée,
- au Nord-est par la wilaya d'Ain Temouchent,
- à l'est par la wilaya de Sidi Bel-Abbes,
- à l'Ouest par le Maroc,
- et au Sud par la wilaya de Naâma (Figure V.1)



Fig V. 1: Carte de la situation géographique de la wilaya de Tlemcen (andi, 2013).

V.1.2 - Situation hydrographique:

Selon les données de la direction de l'hydraulique 2013, la wilaya de Tlemcen est caractérisée par un réseau hydrographique relativement très dense, à écoulement plus ou moins pérenne.

La formation du réseau hydrographique est fortement conditionnée par les facteurs caractéristiques des terrains traversés par les différents oueds.

Les principaux cours d'eau sont :

- Oued Tafna
- Oued Khmis
- Oued Isser
- Oued Sekkak

A cela s'ajoute des ressources souterraines très importantes. Leur abondance fait d'elles le château d'eau de l'ouest.

Les barrages existant dans la wilaya de Tlemcen sont :

- Barrage Boughrara
- Barrage Beni Bahdel
- Barrage Sidi Abdelli
- Barrage Meffrouch
- Barrage Sekkak (Zohara et al, 2014)

V.1.3 - Situation démographique

La population totale de la wilaya est de 949 135 habitants, soit une densité de 106,6 Habitants par Km², pour une population de 238 900 pour la commune proprement dite. 26% de la population totale a moins de 15 ans, celle-ci constituant ainsi une réserve importante en ressource humaine tandis que pour les années à venir, la frange de la population la constituant a été estimée en 2015 à 302 000 habitants (andi, 2013).

Le taux de croissance de la population de la wilaya est de 1,58%, quant à celle de la ville, elle a évolué de 0,6% de 1998-2008.

V.1.4 - Relief:

Quatre zones distinguent le relief de la Wilaya de Tlemcen:

➤ Chaîne des Traras :

Chaîne côtière à relief faible et tourmenté, elle caractérisée par une érosion assez remarquable et des précipitations peu importantes. Elle comprend deux chaînons orientés vers le Sud-Ouest et Nord-Est (Djebel Zandal 600m Djebel Fillaoucene 1136 m).

➤ **Zone hétérogène**

Une zone hétérogène de plaines et plateaux entaillées par les vallées de la Tafna et l'Isser (plaines de Maghnia, de Sidi Abdelli, et de la région de AinTellout).

Cet ensemble est caractérisé par de fortes potentialités agricoles, un tissu urbain dense, un bon réseau routier et une importante activité industrielle (**Direction de commerce de Tlemcen, 2013**).

➤ **Monts de Tlemcen**

Les Monts de Tlemcen qui font partie de la grande chaîne de l'Atlas tellien qui traverse l'Algérie d'Est et en Ouest, s'érigent en une véritable barrière naturelle entre les hautes plaines steppiques et le tell (**Direction de commerce de Tlemcen, 2013**).

C'est une chaîne de massif calcaire orientée du Sud vers l'Ouest et du Nord vers l'Est.

➤ **Zone steppique**

Située au Sud, la zone steppique s'étend sur le 1/3 de la superficie de la Wilaya. Elle est constituée d'une nappe alfatière estimée à plus de 154000 ha. La couverture végétale étant la réplique conditions climatiques (300 mm), les sols peu profonds pauvres en humus sont sensibles à l'érosion (**Direction de commerce de Tlemcen, 2013**).

V.1.5 - Facteurs climatiques

C'est un ensemble de phénomènes météorologiques qui sont principalement la température, les précipitations et les vents. Pour la région méditerranéenne, les précipitations et les températures constituent les facteurs limitant pour la végétation, à côté de quelques autres facteurs qui influencent d'une manière ou d'une autre les biocénoses (la neige, le vent, la grêle, le gel, etc...).

Le climat de Tlemcen, qui est de type méditerranéen, est caractérisé par deux saisons bien distinctes: les hivers doux et pluvieux et les étés secs et chauds avec des taux élevés de rayonnement solaire et d'évaporation.

V.1.5.1 - Précipitation

Les composantes majeures dans une étude bioclimatique sont les précipitations et les températures. Les précipitations nous, renseignent sur l'aridité ou l'humidité du climat. Elles sont définies par **Bary-Lenger (1979)** comme étant des charnières.

Ce facteur primordial conditionne et agit directement sur le sol et la végétation ; il favorise leur maintien et leur développement. La pluviosité varie en fonction de l'altitude, de la longitude, de la latitude.

La quantité de pluie diminue du Nord au Sud selon l'altitude, de l'Est à l'Ouest selon la longitude et est plus importante sur les versants exposés au Nord et aux vents humides.

En effet quand la pluviosité diminue, l'évapotranspiration et la durée de la saison sèche augmente (**Le-Houerou, 1980**).

La pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle de la willaya de l'année 2000 à 2014, est illustrée dans les tableaux V.1 et V.2 :

Tableau V. 1: Moyenne des précipitations (P en mm) Mensuelles calculées sur la période (2000-2014)(www.tutitempo.net).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Σ P
Moy	44,79	37,49	33,30	31,83	24,77	4,75	0,66	5,92	20,77	34,4	58,33	49,49	346,57

D'après le Tableau ci-dessus, les mois de novembre, décembre et janvier constituent les mois les plus arrosés avec une moyenne respectivement de 58,33 mm, 49,49 mm, 44,79 mm alors que juillet représente la partie la moins pluvieuse de l'année avec 0,66 mm.

Tableau V. 2: Moyenne des précipitations (P en mm) annuelles calculées sur la période (2000-2014)(www.tutitempo.net).

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Moy	190	344,93	301,25	441,71	362,23	182,65	227,32	285,98	428,35	374,71	370,59	395,46	359,18	474,24	344,91

La région de Tlemcen reçoit annuellement un total de 346,57mm(TabeauV.1) de précipitation moyenne (moyenne de la période 2000-2014), entre un minimum de 182,65 mm et un maximum de 474,24 mm. La majeure partie est enregistrée en hivers et au début du printemps. Les années, 2003, 2008, 2011et 2013, sont relativement plus pluvieuses avec respectivement,441,71 mm, 428,35mm, 395,46mm, 474,24mm. Par contre, un déficit hydrique est signalé pour les années 2000 et 2005 où l'on ne signale que des hauteurs respectives de 190mm et 182,65 mm (tableauV.2).

V.1.5.2 - Température

La température est un facteur climatique écologique, indispensable et fondamental pour la vie des végétaux. Elle représente un facteur caractérisant le type de climat et un facteur déterminant le régime d'humidité.

La moyenne des températures mensuelles enregistrée est résumée dans la Figure V.2 qui suit :

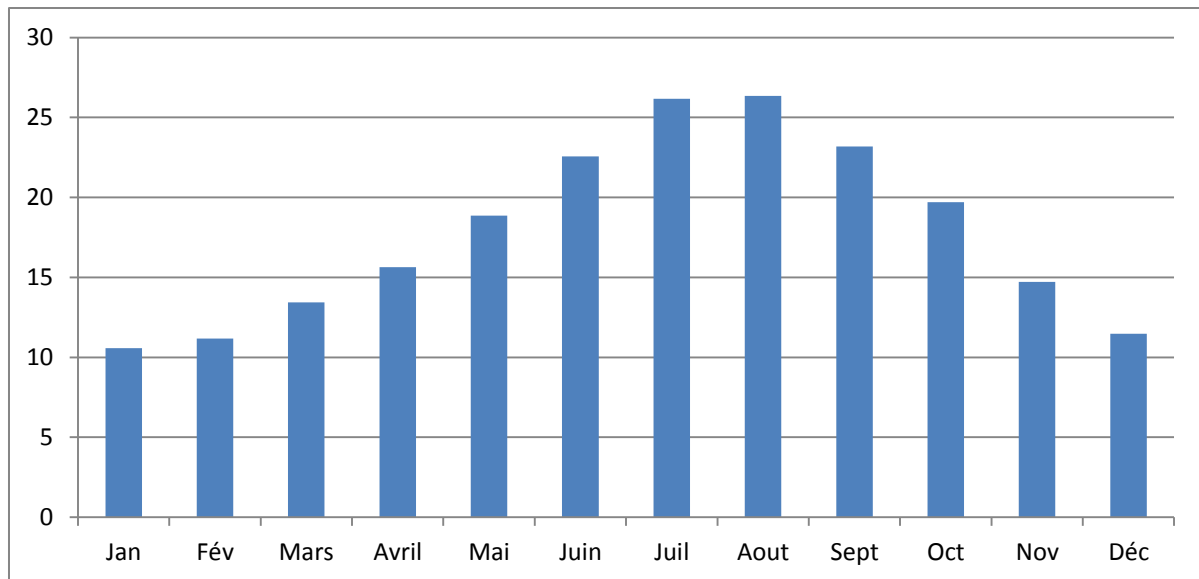
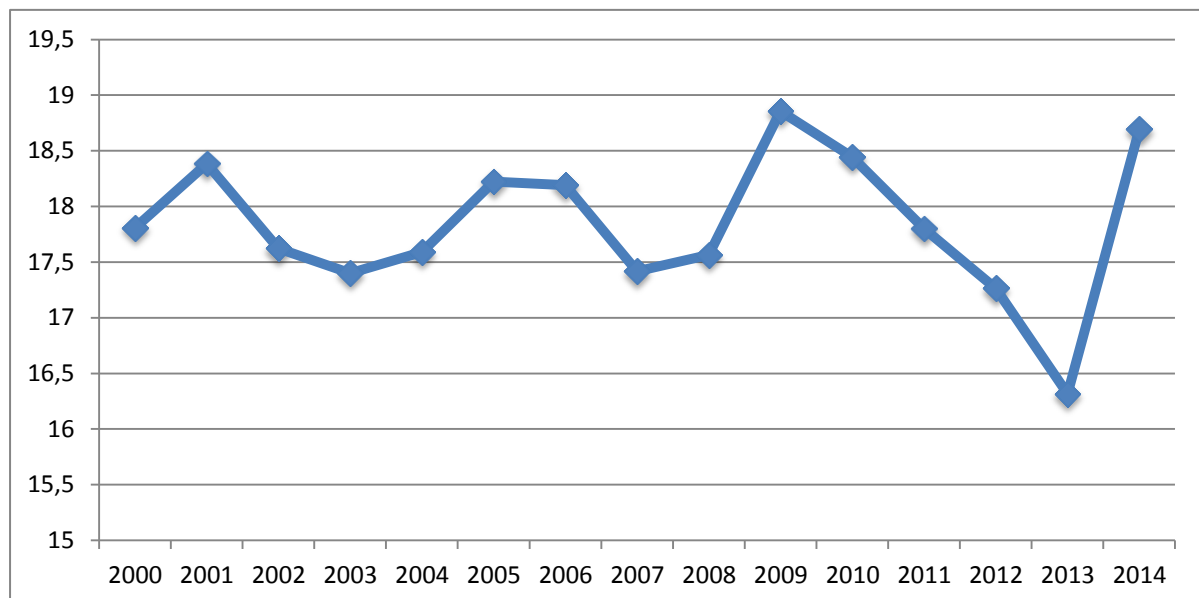


Fig V. 2: Températures moyennes mensuelles de la willaya de Tlemcen de 2000-2014.(www.tutiempo.net)

Sur une période de 14ans (2000-2014), ce sont les mois de décembre, février et surtout de janvier qui représentent les mois les plus froids, avec une moyenne de 11,57°C, 11,17°C et 10,57°C. Les mois de juillet et d'Aout constituent les mois les plus chauds, enregistrant en moyenne 26,16°C, 26,35°C (FigureV.2).

Fig V. 3: Températures moyennes annuelles de la willaya de 2000-2014(www.tutiempo.net)



La moyenne des températures annuelles illustrées ci-dessus indique que les années les plus chauds enregistrées entre 2000 et 2014 sont 2001, 2005, 2006, 2009 et 2014, avec respectivement des températures de 18,38°C, 18,22°C, 18,19°C, 18,85°C et 18,69°C. L'année le moins chaud est représenté par l'année 2013 avec 16,31°C.

Tableau V. 3: Moyennes mensuelles des températures minimales (m en °C) calculées sur la période (2000-2014)(www.tutiempo.net).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy min	5,36	5,95	7,87	9,51	12	16,02	19,61	20,24	17,54	14,15	11,79	6,60

D'après le (tableau V.3) ci-dessus, les températures minimales les plus basses, enregistrées en hiver (décembre à février) descendent rarement en deçà de 5°C. Il a été relevé que la température minimale du mois le plus froid (soit le mois de janvier) est de 5,36°C.

Tableau V. 4: Moyennes mensuelles des températures maximales (M en °C) calculées sur la période (2000-2014) (www.tutiempo.net).

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy max	16,66	17,66	20,19	22,48	25,83	29,37	33,21	32,93	30,08	26,86	21,11	17,63

Selon le tableau en dessus, c'est en été (Juin à Aout) que l'on enregistre les valeurs les plus élevées, avec notamment des températures maximales dépassant en moyenne 30°C.

V.1.5.3 - Facteurs climatiques complémentaires

En plus de ces deux principaux facteurs climatiques, d'autres facteurs peuvent entraîner une certaine influence sur les plantes, parmi les plus importants nous pouvons citer, l'humidité et le vent.

V.1.5.3.1- Humidité

C'est un état de climat qui correspond à la quantité d'eau contenue dans l'air.

Le tableau ci-après énumère les moyennes mensuelles cette humidité durant 14ans au niveau de la willaya de Tlemcen.

Tableau V. 5: Humidité moyenne(%) de la willaya de Tlemcen durant 2000-2014(www.tutiempo.net).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	
Moy	76,31	74,98	73 ,28	69 ,11	64 ,89	59,38	55,57	58,78	66,68	70,6	73,96	76,32	68,06

L'humidité est relative et varie d'une façon plus ou moins marquée au cours des 12 mois de l'année, elle est généralement supérieure à 55%. L'humidité de l'air est représentée par une moyenne de 68,06%.

Au cours de la période 2000-2014, la moyenne maximale de l'humidité la région, a été enregistrée au mois de décembre et janvier avec respectivement 76,32% et 76,31%, alors que la minimale est enregistrée pendant le mois de juillet avec 55,57%.

V.1.5.3.2- Vents

Le vent possède un régime de déplacement variable en fonction de l'altitude, la pression atmosphérique et les saisons. Le vent accentue les effets des éléments du climat (température, humidité et précipitations). Il est fortement influencé par les conditions topographiques locales. Il exerce une action mécanique et physiologique sur les arbres des forêts.

Tableau V. 6: Vitesse moyenne du vent (km /h) de la willaya durant 2000-2014 (www.tutiempo.net).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	
Moy	7,41	7,41	7,18	8,00	8,37	8,18	8,07	7,56	6,81	6,45	7,39	7,33	7,51

La région de Tlemcen subit des vents généralement à dominance nord-ouest froid en hivers et chaud en été. La vitesse moyenne pour la période de 2000-2014 est de 7,51km/h (Tableau V.6). Les vitesses maximales des vents sont atteintes aux mois d'avril, de mai, de juin pour persister jusqu'en juillet. Elles atteignent leurs minimales en octobre, sur la période de 15ans. Ces variations sont dues en principe aux fluctuations des températures, entraînant des changements de pression inhérentes surtout aux influences maritimes.

V.1.5.4 - Données climatiques de la période de transplantation

Tableau V. 7: représentation des moyennes des températures, des précipitations, de humidité et de la vitesse du vent, sur de la période de transplantation (décembre 2014 à Février 2015) (www.tutiempo.net).

Mois	Décembre 2014	Janvier 2015	Février 2015	Moyennes
T° moy (°C)	10,9	9,7	10,5	10,36
P moy (mm)	95,01	75,19	42,17	70,79
Humidité moy (%)	74,2	71 ,8	73	73,6
Vitesse moy du vent (km/h)	9,6	10,6	15,8	12

La période de transplantation a été caractérisée par des données climatiques adéquates au mousses pour bien accumuler les métaux, avec une température moyenne de 10,36°C et des précipitations moyenne assez abondante de 70,79mm, accompagnée de vent ayant une vitesse ajustée de 12km/h ainsi qu'une humidité moyenne suffisante de 73 ,6% (Fig). Cette période favorable permet aux mousses de ne pas dessécher et par conséquent d'avoir toutes les capacités d'accumulation nécessaires des polluants atmosphériques notamment, les métaux libérés par la circulation automobile.

V.1.5.5 - Synthèse climatique

La combinaison des paramètres climatiques (précipitations et températures) ont permis à plusieurs auteurs de mettre en évidence des indices. Tel est le cas d'**Emberger (1936)** et **Gausson (1958)**(in **Dahmani, 1997**).

V.1.5.5.1- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson permet de faire ressortir la période sèche d'une région donnée. Gausson, considère que la sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle (P) exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne mensuelle (T) en degrés Celsius ($P < 2T$) (**Dajoz 1985 in Khifer ,2012**). Partant de ce principe, nous avons établi le diagramme Ombrothermique pour la période de 2000-2014 (FigureV.4).

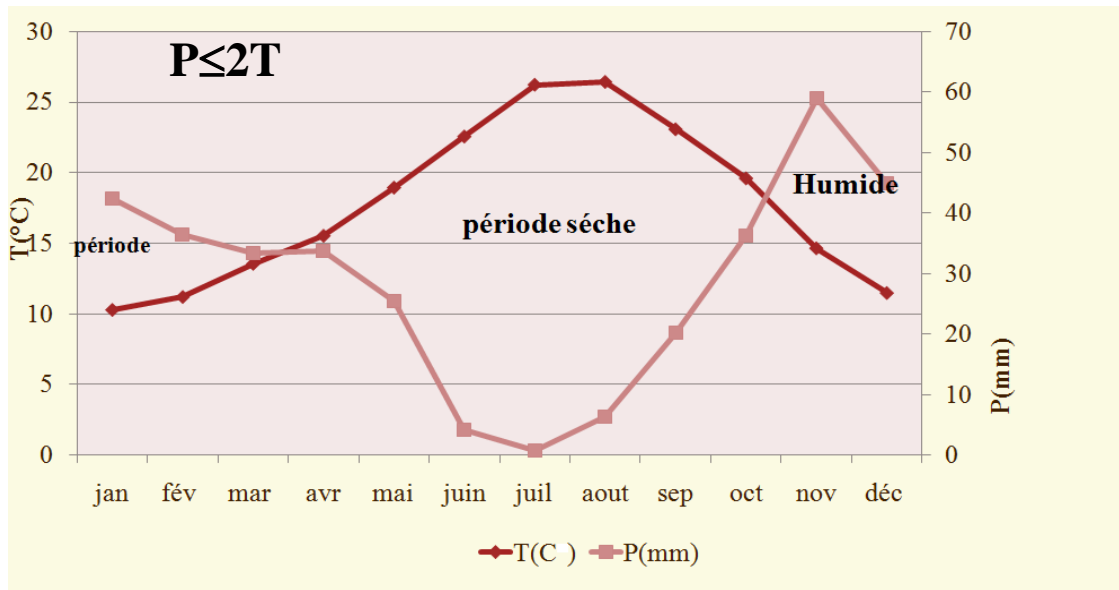


Fig V. 4: diagramme ombrothermique de Gaussen

Sur les données de 15 ans, la région de Tlemcen subit une période sèche de 6 à 7 mois qui s'étale d'avril à fin octobre pour culminer au mois de juillet et Aout. La période humide couvre les 6mois restant, avec deux principaux pics de périodes humides. Le premier coïncide avec les mois de janvier jusqu'en mars, alors que le deuxième est observé entre octobre et décembre.

V.1.5.5.2- Indice pluviométrique et le climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_3) permet de déterminer les étages et les sous étages bioclimatiques d'une région méditerranéenne et de la situer dans le climagramme d'Emberger. Cependant, ce quotient a été amélioré et simplifié par Stewart en 1969 et 1975. Il importe ainsi de noter que le quotient Q_3 est spécifique à l'Algérie.

C'est un quotient de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud et de la température moyenne minimale (m) du mois le plus froid, en degrés Celsius et de la pluviosité moyenne annuelle (p) en mm. Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide. (Ozenda,1982., Ramade, 2003.,Khifer, 2012). Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_3 = 3.43P/M - m$$

Q_3 : quotient pluviométrique;

P : précipitation annuelle en (mm);

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud;

m: moyenne des températures minimales du mois le plus froid;

Pour ce faire, chaque station est placée sur un graphe à deux axes perpendiculaires :

En abscisses sont portées les valeurs de m en degré Celsius, en ordonnées les valeurs de Q_2 . (Yala,2014.,Ozenda, 1982.,Ramade, 2003).

Pour la région de Tlemcen (2000-2014), où $P = 346,57$ mm, $M=33,21^\circ\text{C}$, $m=5,36^\circ\text{C}$ (TableauV.1,TableauV.4 ,TableauV.3), le quotient pluviométrique (Q_3) s'éleve à 42,70 et permet de classer la région dans l'étage bioclimatique méditerranéenne, semi-aride inférieur à hiver tempéré.

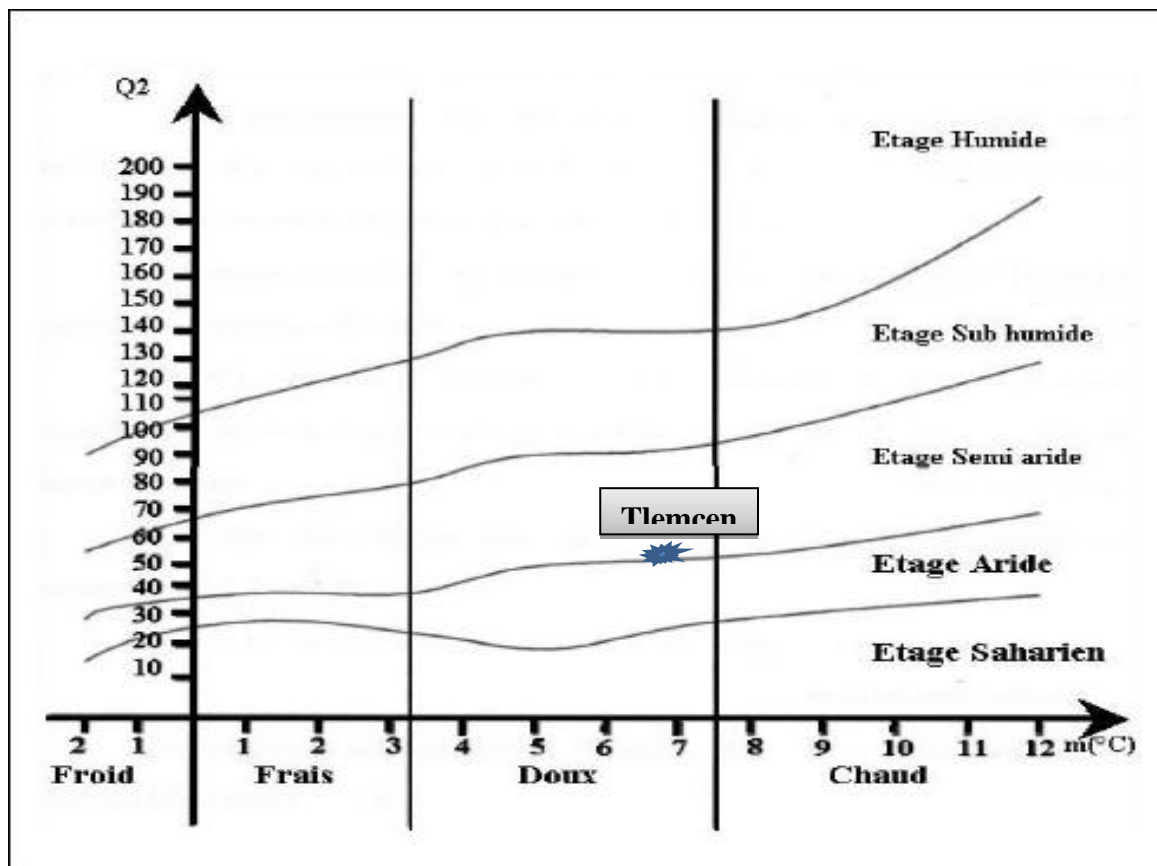


Fig V. 5: diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

V.1.6 - Réseau routier :

La Wilaya de Tlemcen gère 4 188 Km de routes se répartissant comme suit :

- 100 Km d'Autoroutes
- 764 Km de routes nationales
- 1 190 Km de chemins de Wilaya
- 2 134 Km de chemins communaux

Tableau V. 8: Répartition du parc automobile par catégorie de la Wilaya de Tlemcen (1995, 1996, 2003,2014) (**Direction de transport et estimation ANAT in anat,2006**).

Catégories	1995	1996	2003	2014
Véhicules légers	38 726	46 003	79 517	1070418
Véhicules camionnettes	12 730	14 999	26 505	41623
Auto cars	483	542	1 325	2456
Véhicules lourds	5 314	5 847	11 927	19214
Autres catégories ⁽¹⁾	6 306	7 252	13 255	20214
<i>Total parc automobile</i>	63 559	74 643	132 529	

Chapitre VI

Matériel et Méthodes

VI - Matériels et Méthodes

VI.1 - Origine du matériel expérimental

VI.1.1 - Choix du site de prélèvement et de la zone d'étude

Le prélèvement consiste à extraire des échantillons de mousse dans un milieu sain là où le degré de Pollution est considéré comme négligeable. Dans notre cas on a choisis le parc national de Theniet El Had.

Le parc de Theniet El Had est situé dans la willaya de Tissemsilt à 106 km de la ville de Tiaret. Il s'étend sur une superficie de avec 3425ha. Les altitudes varient de 1000 m à 1787 m (point culminant RAS EL BARET). La raison du choix du site est due au fait que le parc est éloigné de tout source majeure de pollution donc on aura des échantillons sains contrairement au parc de Tlemcen qui est beaucoup plus rapproché à des sources de pollution. Pour éviter les contaminations directes, les mousses sont prélevées à plus de 300 m des routes principales et des zones habitées, et à plus de 100 m des routes secondaires et des maisons isolées. L'échantillonnage doit être réalisé au niveau de zones découvertes, ou au niveau de clairières dans le cas échéant. Nous avons choisis des zones non influencées par les ruissellements de troncs et prélevé préférentiellement des échantillons qui poussent sur le sol ou les souches d'arbres aussi éviter de prélever les mousses sous les buissons et les herbes à feuilles larges, ainsi que sur des zones à forte pente où l'eau risque de s'écouler.

Par ailleurs le choix de la zone d'étude s'est fixé préférentiellement sur la ville de Tlemcen du fait d'une part de l'incommensurabilité de sa ville et de sa population et d'autre part de l'immensité de son trafic routier (qui est susceptible d'émettre un grand nombre de polluants notamment les élément trace métallique qui est l'objet de notre étude) par rapport à la ville de Tiaret, et également, par rapport aux autres grandes villes nous avons une assistance en cas d'absence au niveau de la ville d'étude pour la surveillance des échantillons transplanté.

Enfin pour confirmer ou infirmer les résultats de l'étude réaliser l'année précédente qui a aboutie a des résultats insuffisants, du faite du nombre d'échantillon de mousses insuffisants qui a été récolté et également de certaines erreurs lors du dosage des échantillons.

Cependant au cours de cette étude, et pour pallier aux différentes erreurs citées ci-dessus, l'accent sera mis sur l'augmentation du nombre d'échantillons transplantés ainsi que la période de transplantation en vue de mesurer la variabilité saisonnière de la bioaccumulation de ces espèces particulière qui sont les mousses.

VI.1.2 - Choix de l'espèce

Nous avons constaté que la plupart des travaux de biosurveillance, réalisés au sein de notre université, se consacrent sur l'utilisation des lichens (*xanthoria parietina* et/ou *Parmelia*) et des végétaux supérieurs (platane, cyprès) ; et une absence presque totale de travaux sur l'utilisation des mousses dans l'accumulation des ETM au niveau de la ville de Tlemcen.

C'est pour cela, nous avons opté pour l'utilisation des mousses dans notre travail. Aussi, les mousses de par leur forte propriété bioaccumulatrice constituent d'excellentes indicatrices de la contamination de l'air. Les mousses fournissent assez de tissus pour l'analyse, elles ne possèdent ni de racines ni de tissus conducteurs elles accumulent les polluants sans disparaître d'où notre choix.

Dans le même contexte de choix, on doit prélever des échantillons de mousses en bon état de manière aléatoire et en quantité suffisante.

Quant au choix de l'espèce utilisé, il a été essentiellement basée sur son abondance dans la zone de prélèvement ; le parc national de THENIET AL HAD.

VI.1.3 - choix des éléments trace métalliques

Les métaux lourds ont l'inconvénient majeur de n'être pas dégradables par des processus chimiques ou biologiques dans le sol. Lorsqu'ils ne contaminent pas les eaux souterraines par lessivage, les éléments traces métalliques, s'y accumulent puis pénètrent dans les plantes que les animaux consomment ensuite, l'homme y compris en engendrant un fort impact toxicologique, pouvant aller jusqu'à entraîner la mort. On estime ainsi que les végétaux récoltés stockent environ 1 % des métaux présents dans l'horizon de surface (SIRVEN, 2006).

L'exemple de certains métaux lourds peuvent être prise comme référence à savoir le cas du plomb qui est probablement le polluant le plus connu de l'opinion publique, parce qu'il représente un réel danger pour la santé publique (saturnisme, troubles psychiques) il se trouve être cumulatif pour l'homme, la faune et la flore. Sa présence dans les eaux ou le sol ne peut être que néfaste. De plus, il est particulièrement connu pour ses capacités de bioaccumulation et de bioamplification tout au long de la chaîne alimentaire, ainsi que pour sa très forte rémanence. En effet d'après (Ramade 1993 in Zerrouki, 2013), les apports anthropiques de plomb sont dix fois supérieurs aux apports naturels. Pour d'autres auteurs, 99,7% des émissions atmosphériques de plomb sont d'origine anthropique, et une grande part de ces émissions incombe à la circulation automobile (Colandini, 1997 in zerrouki, 2013).

Outre la toxicité des métaux lourds, les éléments qui ont permis d'orienter le choix des métaux à étudier sont les suivants. L'aspect quantitatif, avec le bilan réalisé sur les sources d'émission de polluants en milieu routier a mis en évidence que les principaux éléments traces métalliques émis par le trafic et les infrastructures routières sont, le plomb, cuivre et le zinc.

C'est dans ce contexte que nous avons concentré cette étude sur le Pb.

VI.2 - Mise en place du protocole expérimental

VI.2.1 - Maillage

Afin d'organiser et de répartir aux mieux nos transplants, la zone d'étude a été découpée en maille. Le maillage est une méthode statistique, il varie en fonction de l'importance de l'agglomération donc de la surface urbaine. Selon la méthode des Ingénieurs Ecologues Allemands, il est recommandé un maillage de 1km de côté en milieux urbains et fortement urbanisés. Une maille de 1 kilomètre paraît trop imprécise pour la faible superficie de la zone étudiée et une maille plus fine ne permettrait pas de trouver un nombre suffisant d'arbres pour faire les relevés. Dans le présent travail, vu que la surface urbaine de la zone étudiée est moyenne, nous utiliserons une maille de 400 mètres de côté.

Dans chaque maille, on choisit judicieusement 3 arbres, ceux-ci étant répartis le plus uniformément possible dans la maille.

Chaque maille possède une coordonnée composée d'une lettre et d'un chiffre. Ces coordonnées seront utilisées pour désigner une maille lors de l'analyse des résultats. Le total des stations choisies est de 29.

Tableau VI.1 Le tableau suivant représente les différentes stations choisies pour notre étude au niveau de la ville de Tlemcen.

Tableau VI. 1: les stations choisies pour notre étude

N° station	Nom de la station	N° station	Nom de la station
1	Rondpoint Koudia	16	Carrefour ITMA
2	Jardin station de service Abou Tachfine	17	Rondpoint station de services Ouahiani
3	Jardin station de Taxis Oran	18	Accès université de Tlemcen
4	BabOuahrane, direction DTP	19	Rondpoint accès Abou Tachfine
5	Jardin direction de l'éducation	20	Accès pôle universitaire de Chetouane
6	Lycée Benzerdjeb	21	Rondpoint accès Chetouane
7	Terrain de jeux école des cadets	22	Zone industrielle, desserte N° 6
8	Rondpoint hôtel les Zianides	23	Rondpoint Sidi Said
9	Jardin station de taxis Sidi Bel Abbas	24	Siege APC de Tlemcen
10	Rondpoint stade Akid Lotfi	25	Rondpoint Cité Makhokh
11	Rondpoint cité Djibouti	26	Accès siège daïra Mansourah
12	Lycée Commandant Ferradj	27	Rondpoint accès cité Imama
13	Carrefour hôpital TidjaniDamardji	28	Rondpoint cité OPGI
14	Rondpoint cité Mansourah	29	Rondpoint cité Kiffane
15	Rondpoint cité universitaire de jeunes filles		

VI.2.2 - Technique et durée de transplantation

Une fois les stations déterminées et le maillage de la ville effectuée, nos échantillons ont été transportés du parc de Theniet El Haddans dans des sacs en papier bien fermés à la ville de Tlemcen où, ils ont été transplantés dans les 24 heures suivant leur récolte. La technique de transplantation élaborée, consiste à replanter des mousses originaires d'un site de référence (parc national de Theniet El Had), exempt de toute contamination. La transplantation doit se faire très tôt le matin ou pendant la nuit dans le but d'éviter le risque de vandalisme. Opter pour des emplacements adéquats pour nos mousses, notamment celles leur permettant d'être aptes à bien accumuler les polluants ciblés et aussi d'éviter la perte par l'effet des aléas

climatiques. Nous avons transplanté nos échantillons a un hauteur allant d'environ 1m30 à 2m. Dans notre cas les supports utilisés sont les troncs d'arbre et les toits des maisons. Il importe de signaler que environ 50 échantillons de mousse ont été transplanté et seulement 29 en sont récoltés.

Après transplantation des mousses ont doit veiller surtout à ne pas omettre de noter les coordonnées géographiques dont la latitude et la longitude (qui permettra d'attribuer pour chaque zone, la quantité de polluant émise et également pour ne pas perdre l'emplacement) et procédé ensuite à l'annotation des références à savoir la date, code de l'emplacement qui va représenter le code de l'échantillon au laboratoire.

Pour obtenir des résultats fiables il est inéluctable d'établir certaines règles d'implantation précises des transplantations, parmi lesquelles on cite :

- Eviter toute contamination des échantillons de mousse avant transplantation, en effectuant aussi taux que possible après récolte, le transplant des mousses
- Bien arroser avant transplantation avec de l'eau déminéralisée,
- Manipuler avec des gants,
- Bien fixer la mousse,
- Prendre des repères pour ne pas perdre l'emplacement
- Transplanter une quantité suffisante pour avoir une quantité suffisante de poids sec.
- Respecter les hauteurs de fixation sur les supports qui doivent être situé à environ 1,30m du sol
- Transplanter près des axes routiers, dans des sites ou la circulation de l'air n'est pas entravée.



Fig VI. 1: Mousse transplantée dans la ville de Tlemcen (**Photo originale**).

Une fois la transplantation réalisée, les échantillons de mousse doivent rester exposés au moins un mois. Dans notre cas ce fut du 22 décembre 2014 au 22 Février 2015 qui est une période bien humide qui va permettre aux mousses de garder leurs états frais autrement dit de ne pas dessécher et par conséquent pouvoir mieux accumuler les polluants.

Après la période d'exposition des mousses, elles sont récoltées et mises soit dans des sachets en plastique soit dans des emballages en papier pour éviter toute contamination et par conséquent minimiser toute erreur dans les résultats relatifs au taux de polluants à obtenir après analyse des échantillons ainsi que dans l'interprétation des résultats.

VI.2.3 - Protocole analytique des échantillons au laboratoire

Ultérieurement aux activités sur terrain, place a été donnée à celles du laboratoire qui exigeaient en premier lieu une préparation des mousses. Cette préparation vise à faire :

- Un tri : retirer manuellement les résidus de plantes et de particules de sol car ; pour la suite du travail on aura besoin que des résidus de mousse,
- Un séchage : Les parties récupérées sont ensuite mises dans des creusets en porcelaine toujours étiquetés. Ils seront ensuite mis dans l'étuve pendant 72h à une température de $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ afin de les déshydrater.
- Un broyage : cette étape consiste à diviser un solide, pour augmenter sa surface spécifique et donc sa réactivité lors de l'attaque par les acides. C'est une étape importante de préparation, elle est nécessaire pour l'obtention d'un échantillon homogène et pour avoir de bons rendements d'extraction. Afin d'atteindre ce but, nous avons utilisé un broyeur électrique à parois fines.
- Une calcination : La poudre obtenue est calcinée dans un four à une température de $500^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ pendant 2h. La calcination a pour but de détruire la matière organique bien avant la minéralisation.
- Une minéralisation : après calcination, les échantillons sont attaqués par trois (03) acides forts.

Avant d'entamer cette attaque, on procède à la pesée de chaque échantillon à l'aide de la balance électronique.

La minéralisation permet le retour des éléments sous forme inorganique. Pour cette étape on utilise 3 acides à savoir : l'acide fluorhydrique, l'acide perchlorique et l'acide nitrique respectivement à 5, 3 et 1 ml pour un gramme (1g) d'échantillon.

Au préalable, l'attaque est faite par l'acide fluorhydrique et l'acide perchlorique, après quoi l'échantillon est mis dans le bain de sable jusqu'à évaporation. Puis ; par l'acide nitrique suite à quoi on procède à l'adjonction de 10ml d'eau distillée. L'échantillon est à une seconde reprise mis dans le bain de sable mais, cette fois juste pour une effervescence.

Ultérieurement, on procède à la filtration de nos échantillons à l'aide de papier filtres disposés sur des entonnoirs et ces derniers sur des fioles Jaugé de 100ml qui, seront complétés jusqu'au trait Jaugé par de l'eau distillée (jaugeage).

Pour finir on procède au dosage des métaux réalisé par spectrométrie d'absorption atomique à flamme (SAA).

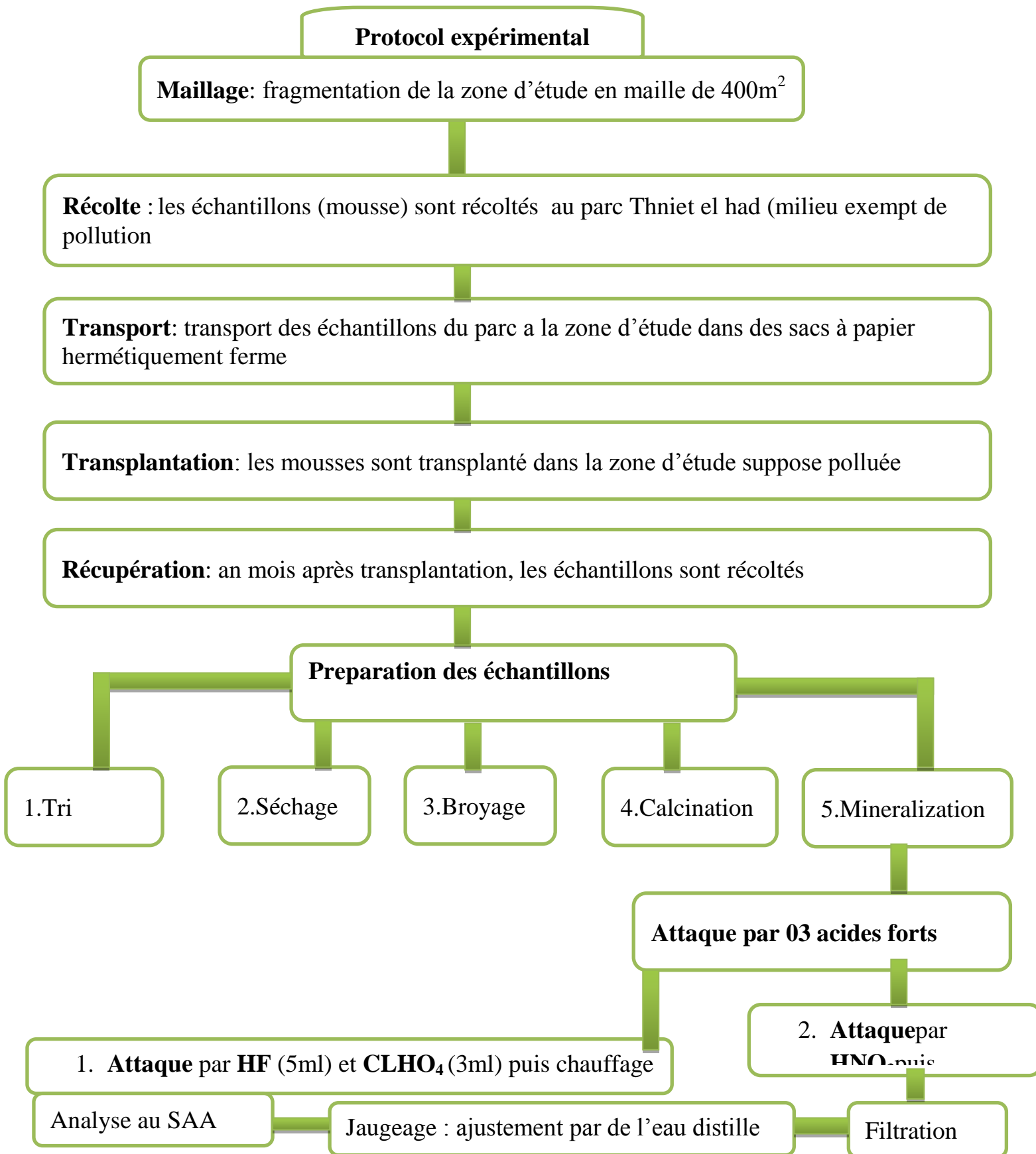


Fig VI. 2: Protocole experimental

Chapitre VII

Résultats et Discussion

VII - Résultats et Discussion

VII.1 - Les analyses statistiques

Le traitement statistique des données est effectué à l'aide du logiciel statistica R version 6.0. Un traitement statistique a été effectué pour estimer la variabilité des échantillons sélectionnés, dans laquelle une sorte de comparaisons des variables a été appliquée par une analyse simple de corrélation.

Les résultats ont également fait l'objets d'une analyse de variance à un seul facteur de classification. La classification automatique avait pour but de mettre en évidence les points qui étaient statistiquement regroupés.

Il est important de souligner que nous avons utilisé des mousses témoins qui ont été récoltés dans un milieu sain, pour comparer ces résultats.

En effet Cuny et Van Haluwyn (2004), ont indiqués que dans ce genre d'études, les échantillons témoins sont plus fiables et plus représentatifs que les valeurs normes.

VII.1.1 - Concentrations du plomb ($\mu\text{g/g}$) obtenus pour chaque station.

Les concentrations en plomb obtenu après dosage par SAA des différents échantillons sont résumées dans la figure VII.1 présentant la concentration en $\mu\text{g/g}$ sur l'axe des abscisses et les différentes stations sur l'axe des ordonnées.

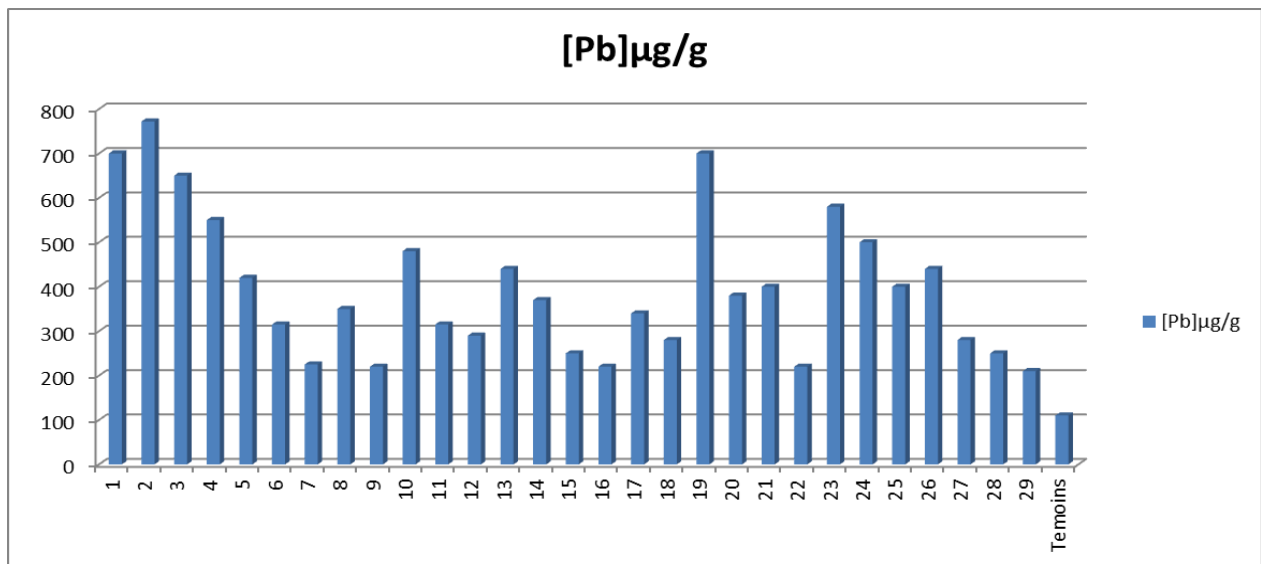


Fig VII. 1: Concentration en Pb ($\mu\text{g/g}$) des différents échantillons de mousses dans la ville de Tlemcen

A la lecture des résultats, il s'avère que Les concentrations en plomb ($\mu\text{g/g}$) varient entre des valeurs de l'ordre de de 210 à 772 $\mu\text{g/g}$. Ces dernières sont dans l'ensemble largement supérieures à la valeur obtenue pour l'échantillon témoin.

Par station la situation est assez nuancée. On a enregistré en effet quatre pics au niveau des stations 1, 2, 3 et 19 avec des valeurs respectives de 700, 772, 650 et 700 $\mu\text{g/g}$. Cette dernière représente des zones de trafic intense. De plus elles regroupent de nombreux équipements ce qui induit une forte intensité de trafic automobile.

Les autres valeurs se situent entre une moyenne qui varie entre 350 et 500 $\mu\text{g/g}$. Les différentes stations sont pour la plupart situées au niveau du centre-ville ou dans la périphérie immédiate. Elle témoigne dans l'ensemble d'une forte mobilité urbaine ainsi que des échanges importants du flux de circulation automobile.

Le reste des valeurs sont dans l'ensemble situées en périphérie de la ville ou dans des zones résidentielles où le trafic automobile est moins ressenti par rapport au centre-ville ou des zones réputées névralgiques pour leur forte intensité de trafic et flux de circulation.

VII.1.2 - Classification automatique de la pollution de la zone d'investigation

D'une manière générale, la classification automatique nous a permis de regrouper les différentes valeurs obtenues en 3 grandes classes de pollution.

Les résultats de la classification sont illustrés dans la figure VII.2 qui présente les concentrations en $\mu\text{g/g}$ par rapport aux échantillons (m). Sur cette figure, nous remarquons que la zone d'investigation est divisée en trois classes bien distinctes. Ces classes sont classées selon leur concentration en plomb.

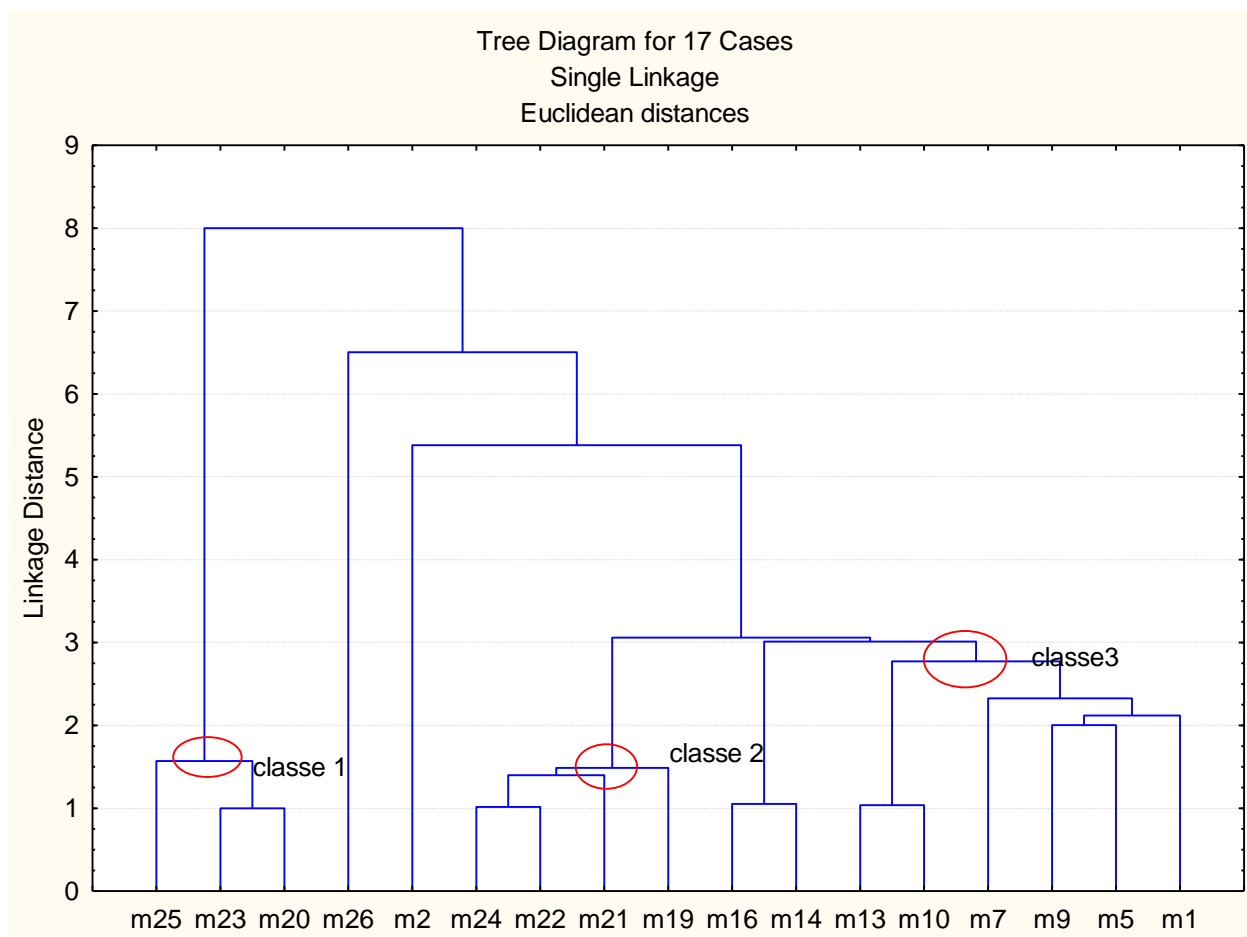


Fig VII. 2: Classification automatique des données récoltées dans les différentes stations de la ville de Tlemcen ($\mu\text{g/g}$)

VII.1.3 - Teneur en plomb ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes classes de pollution

La figure VII.3 ci-après, nous montre la teneur en Pb ($\mu\text{g/g}$) dans les différentes classes de pollution. Nous pouvons y observer les concentrations en $\mu\text{g/g}$ en fonction des différentes

classes.

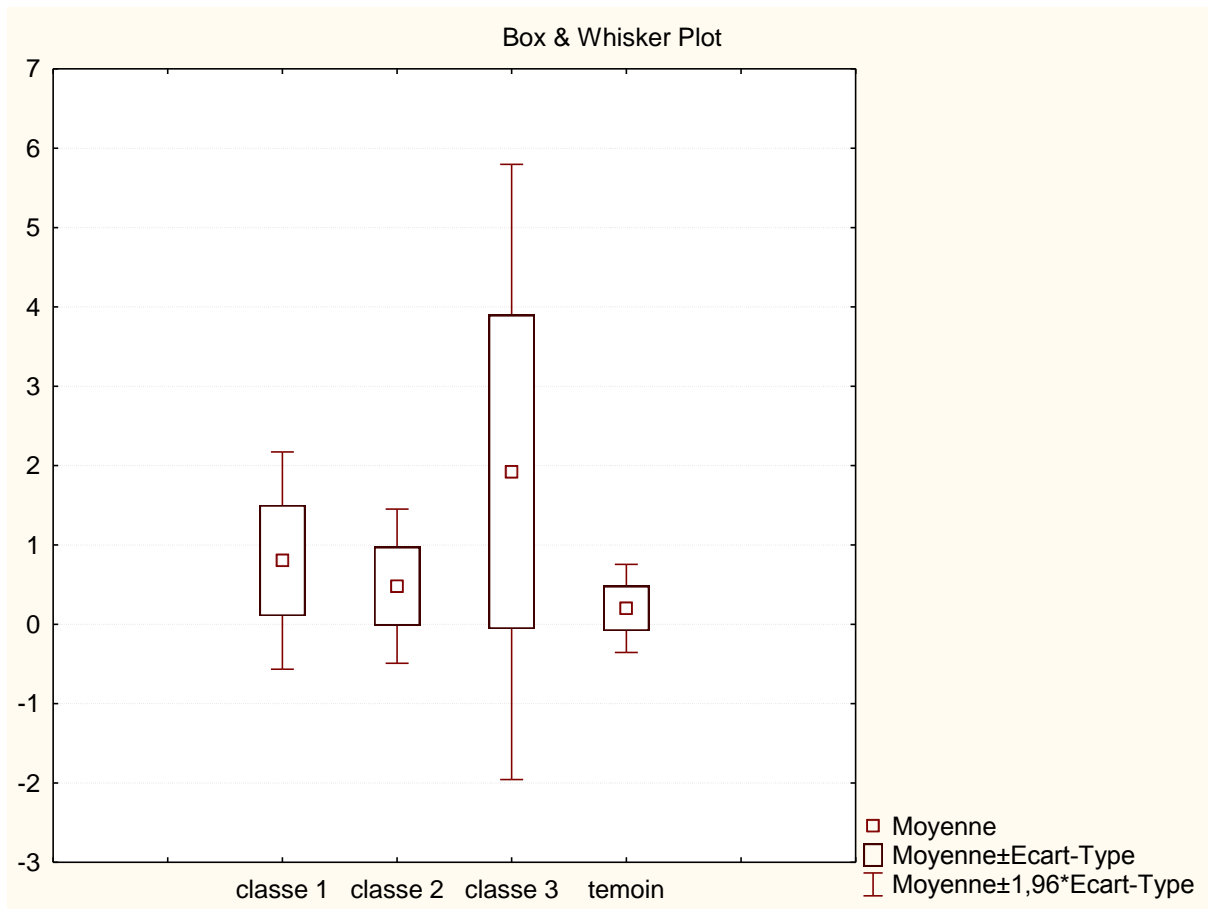


Fig VII. 3 : Représentation graphique en boîte a moustache des teneurs en Pb ($\mu\text{g/g}$)

La lecture de la figure montre que :

La classe 3 (classe chaude) regroupant les valeurs extrêmes. Celle-ci représente les sites les plus pollués. Ils sont affectés à un trafic automobile très important conjugué à l'effet de la pente. La nature du site étant très accidenté, la fréquence du freinage très devient très élevée pour cause de réduction de la vitesse de déplacement. Cette situation est nettement apparente au niveau du rondpoint de Koudia, situé dans une zone fortement accidenté. De plus, ils assurent une bonne partie des échanges du trafic automobile nord sud et est ouest.

La première classe regroupe des concentrations assez élevées. Elles sont situées dans la plupart au niveau du centre-ville ou des quartiers immédiats. Le trafic routier constitue une source importante de métaux lourds toxique pour l'environnement. Le plomb est issu de l'usure des garnitures de freins des pneumatiques, de la corrosion des glissières de sécurité et de l'utilisation de l'essence a plomb.

La deuxième classe regroupe les valeurs relativement faibles avec des concentrations inférieures à $210 \mu\text{g/g}$. Cette catégorie renferme généralement les zones résidentielles à faible trafic. Il est a noté que les valeurs des concentrations des échantillons transplantés est

nettement supérieur aux valeurs des concentrations en Pb des échantillons témoins qui sont en moyenne de 110,15 $\mu\text{g/g}$.

VII.2 - Discussions générale

Nous avons trouvé, qu'il est intéressant de comparer nos résultats à ceux obtenus par **Matoug et al 2010** mais, avec un lichen transplanté à savoir *Xanthoria parietina*. Cela nous permettra d'une part, de faire une comparaison entre l'accumulation de plomb par les mousses et par les lichens et d'autre part, de faire une comparaison entre la contamination de l'air en plomb dans la willaya de Tlemcen et dans la willaya Tiaret (fig VII.1).

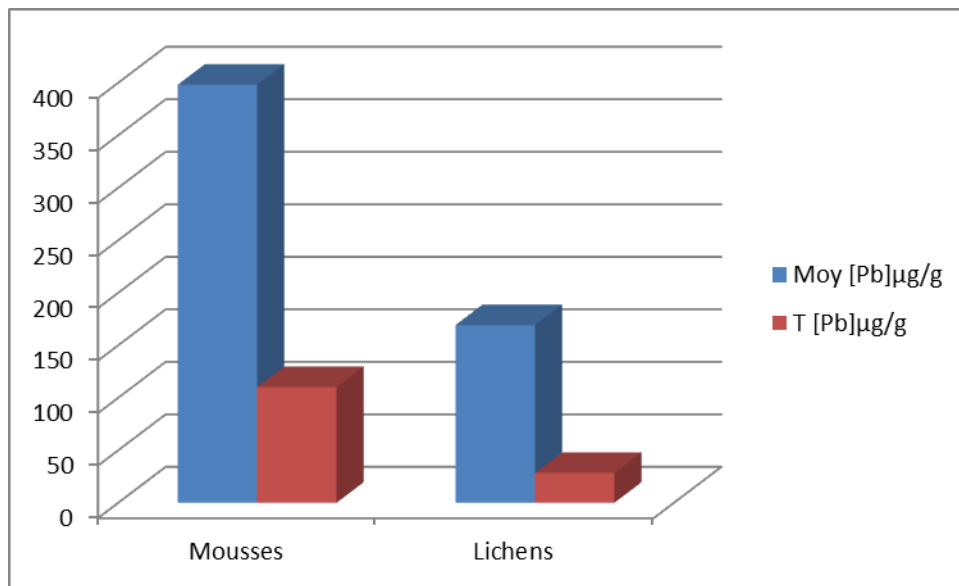


Fig VII. 4: comparaison de la concentration du plomb ($\mu\text{g/g}$) dans les mousses et les lichens.

Nous remarquons, très nettement dans la figure VII.4 que, la capacité d'accumulation du plomb ($\mu\text{g/g}$) des mousses est très élevée par rapport à celle des lichens (*Xanthoria parietina*). D'après notre étude, les mousses ont une capacité d'accumulation de 42,51% plus élevée que les lichens (*Xanthoria parietina*).

Semadi et Deruelle, 1993 in zohara et al, 2014) montrent que le taux de (*Ramalina Farinacea*), transplantées et récoltées dans la région d'Annaba (Algérie) à 5 m de la chaussée est de l'ordre de 60 $\mu\text{g/g}$ (transplantation pendant 1 mois). Ce résultat confirme que les mousses accumulent beaucoup plus de plomb que les lichens. De plus, cette figure nous permet de déduire que la willaya de Tlemcen est beaucoup plus sujette à la pollution de l'air par le plomb que celle de Tiaret.

Aussi, les travaux de bioindication de la qualité de l'air à l'aide des mousses réalisés par **Maïga en 2014**, au niveau de la willaya de Tiaret montrent que la concentration de plomb dans les mousses transplantées et récoltées au niveau de cette willaya varie entre 77 $\mu\text{g/g}$ pour

la valeur minimale et 371 $\mu\text{g/g}$ pour la valeur maximale. Ces valeurs comparées aux nôtres nous permettent de déduire une fois de plus que la willaya de Tlemcen fait plus l'objet de pollution par le plomb que Tiaret.

D'après les résultats de ces différentes études nous remarquons que la ville de Tlemcen présente une pollution sensiblement supérieure aux villes de Tiaret avec des proportions variant entre 15 à 20 %.

*Conclusion
Générale et
perspective*

Conclusion générale et perspective

Le présent travail a été réalisé en vue d'estimer les concentrations des métaux lourds, en particulier le plomb, d'origine routière au niveau de la ville de Tlemcen située à l'extrême ouest de l'Algérie. Les ETM ont été dosés sur 29 échantillons de mousses transplantés dans différentes stations localisées à proximité des axes routiers ainsi qu'au centre de la ville.

La classification automatique des concentrations a permis de distinguer trois 3 différentes classes de pollution dont les valeurs de concentration en plomb varient entre : 220 et 770 $\mu\text{g/g}$.

Ces valeurs de concentrations trouvées dépassent largement le taux de concentration dans les échantillons témoins qui est de **110.15** $\mu\text{g/g}$.

Les résultats obtenus permettent de souligner le degré élevé de pollution par les ETM au niveau de la ville de Tlemcen, dont le trafic routier et les infrastructures routières sont les principales causes. Les classes 3 et 1 englobent les sites fermés localisés sur des zones à pentes relativement fortes et soumis à un trafic routier très important. Par contre la classe 2 renferment les sites les moins pollués, mais toujours dépassent les valeurs de concentrations des témoins. Ces sites, à trafic routier faible, sont également assez ouvert ce qui favorise la dispersion des retombées atmosphériques.

Notre travail, confirme les résultats obtenus par d'autres précédentes réalisés dans d'autres espaces notamment la ville de Tiaret. Il importe toutefois que les résultats obtenus sont sensiblement supérieurs aux villes de Tiaret avec des proportions variant entre 15 à 20 %. Ces observations confirment impérativement la nécessité de réduire les émissions polluantes issues du trafic routier par :

- L'interdiction partielle de la circulation automobile durant certaines heures au niveau du centre-ville et des points névralgiques ;
- Le renouvellement progressif du parc automobile ;
- L'amélioration du réglage de la combustion des moteurs
- L'utilisation des filtres au niveau des tuyaux d'échappement et l'utilisation de carburants moins polluants.

Les mousses sont connues pour leur affinité élevée de bio accumuler les polluants atmosphériques. Cet aspect bio-accumulateur des mousses permet d'établir une carte des différents dépôts élémentaires et la localisation des sources de métaux.

D'une manière générale, la bio-indication de la pollution par les mousses est présumée être une méthode, simple, souple et économique avec des résultats assez impressionnants pour

établir des cartographies de pollution au niveau des sites urbains. De plus, l'identification de la pollution au sein des organismes sensibles permet de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

Il importe enfin de mentionner que la présente étude est l'une des premières de son genre au niveau de la ville de Tlemcen. Elle a permis de donner une idée sommaire sur l'état de la qualité de l'air au niveau du centre-ville et de sa périphérie notamment les concentrations atmosphériques en Plomb.

De ce fait, ce travail mérite d'être continué à l'avenir au niveau du même espace pour confirmer les résultats préliminaires déjà obtenus ainsi que le dosage éventuel d'autres éléments.

Perspectives

Comme perspectives après cette étude, nous suggérons :

- Une éventuelle étude visant à utiliser les mousses pour diminuer les polluants de l'air voire de l'épurer.
- Faire une étude de plus grande envergure ; doser plusieurs ETMs en Algérie afin de faire une cartographie de tout le pays.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

- **Ahmed A.B., 2012**, Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux
- **Anat (Agence nationale d'aménagement du territoire), 2006**. étude de révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme. Willaya de Tlemcen, direction de urbanisation et de construction. le groupement de Tlemcen Mansourah Chetouane et Beni Mester : un espace urbain de cohérence et de solidarité intercommunale., 294p.
- **Andi., 2013**, Willaya de Tlemcen., 24p.
- **Aouissi N., 2011**. Impact de la pollution atmosphérique générée par le transport sur la santé publique, un essai écotoxicologique sur le blé dur (*Triticum durum*, Desf) Cas de la région de Annaba, mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magistère en biologie : Université Badji Mokhtar – Annaba, 80p.
- **APPA NPC., 2008**. Piégeage des polluants par les végétaux, 1p.
- **Aranguren S.M.M., 2008**. Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique, thèse en vue de l'obtention du doctorat : Université Toulouse III., 318P.
- **AREHN., 2004**. Lichens et biosurveillance de la qualité de l'air, 4p.
- **ASPA (association pour la surveillance et étude de la pollution atmosphérique en alsace), 2005**. report d'air en alsace, convention n°08-11/2005.
- **Atmo., 2011**. Le contrôle de la pollution de l'air, 24p.
- **Bary L.A., Evrard R., Bathy P., 1979**. la forêt vaillant carmine S. Imprimer. étude impact., 21p.
- **Bebba D., Derouiche B.N., 2007**. Détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures à l'aide d'un bio indicateur lichénique (*Xanthoria parietina*) et quelques végétaux supérieurs (*Casuarina equisetifolia* et *Phoenix dactylifera*) dans la région de Hassi Messaoud., 104p.
- **Bendada K., Boulakradeche M.W., 2011**. Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds., 57p.
- **Bernard A., Durif M., Lavrilloux P., Vandamme L. (INERIS), 2004**. Utilisation d'une technique de biosurveillance pour évaluer les retombées de métaux lourds., 66p.
- **Signal K.L; Ashmore M.R; Headley A., 2008**. Effects of air pollution from road transport on growth and physiology of six transplanted bryophyte species. *Environmental Pollution.*, 156:332-340p.

Références Bibliographiques

- **Bliefert et Perraud., 2001.** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol. 1ère Ed Boeck. Université Bruxelles.,477p .
- **Boué h.C,h.,1980.**Reproduction et biologie des végétaux supérieur bryophytes-ptéridophytes-spermaphytes-Ed.doin.paris.,433p.
- **Bourbatache M.,2005.**Détection de la pollution atmosphérique d'origine urbaine a l'aide de certaines espèces végétales bio accumulatrices des métaux lourds dans la ville. mémoire pour l'obtention de master à l'université de Ibn Khaldoun de Tiaret, Ref TH-B- 252.,56p.
- **Burton M.,Agneta S., 1990.** Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial habitats. Botanical Journal of the Linnean Society 104 (1-3)., 267-280 p.
- **Cuny D et pilab.,2014.** biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air : Introduction au workshop : Place et perspectives de la biosurveillance, E.A. 4483, Université de Lille : Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques. Laboratoire des Sciences Végétales et Fongiques.
- **Dahmani M.H.,(1997).** Localisation et approche de spéciation de métaux lourds (Zn, Pb, Cd) dans des végétaux adaptés aux friches industrielles. INRA, Versailles, DEA-S.T.E.Paris XII val de Marne., 46p.
- **Dajoz R., (1985).** Précis de pédologie. Ed. Bordas. Paris. Dunod Université.
- **Diaf N., Bouchaour M., Merad L., B. Benyoucef., 2003,** Paramètres Influençant la Dispersion des Polluants Gazeux., 142p.
- **Direction de commerce de la willaya de Tlemcen., 2013.** Willaya de Tlemcen. www.dcwtlemcen.dz.
- **Djabine K.D.E.,2005.** Évaluation Et Comportement Des Métaux Lourds (Cd – Cr – Cu – Ni – Pb – Zn Et Mn) Dans Les Sols À Vocation Agricole et à Végétation Naturelle Soumis à Une Pollution Atmosphérique. (El-Hadjar – Annaba – Est Algérien) : Influence de la Végétation Sur La Dynamique de ces Métaux., thèse Pour L'obtention du Grade de Docteur d'état : Université Mentouri de Constantine En Écologie.,112p.
- **Edwige B et al., 2006.**extra rapole n°29 : épidémiologie et pollution atmosphérique analyse critique des publications internationales : Effets à long terme de la pollution atmosphérique études européennes, Pollution atmosphérique n° 190,Labrador, éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines, rapport d'étude N°INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a., 119 P.

Références Bibliographiques

- **Elichegaray C., 2008.** La pollution de l'air, sources, effets, prévention. Ed Dunod., 210 p.
- **Emberger.,1936.** La Végétation de la Région Méditerranéenne. Essai d'une Classification des Groupements Végétaux. Rev. Gen. Botanique.
En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Sciences Biologiques
Spécialité: "Ecologie Végétale et Environnement : Option : Ecosystèmes forestiers.
Université Ibn Khaldoun de Tiaret.,66p.
- **Environnement., 2008.** Les effets des polluants atmosphériques., 3p.
- **Foan L.M., 2012.** Biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes Suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles., 432p.
- **Forel J.,2014.** La pollution atmosphérique : un risque majeur pour la santé notamment dans la vallée de l'Arve, Méthodes de Recherche en Environnement-Santé-Toxicologie-Ecotoxicologie.,27p.
- **Gaston G.,(2006).** La pollution atmosphérique : rappel des objectifs de notre association, Observatoire des Nuisances Aériennes., 3- 4-6 p.
- **Gaussen H., Debrach J., JOLY F., 1958.** Précipitations annuelles. – Atlas du Maroc, Rabat, planche n°4a,Comité Nat. Géogr. Maroc, notice., 36p.
- **Gonzalez C.M., Pignata M.L.,1997.**chemical reponse of the lichen puncteliasubridecta (NYL.) Krog transplanted close to a power station in an urban-industrial environment. Environmental pollution. 97 (3)., 195-203p.
- **Haluwyn C.V., 2009.** Biosurveillance végétale: de la recherche à la normalisation ., 32p.
- **Haluwyn C.V., Cuny. D., Garrec J.P.,2011.** Définitions, concepts et enjeux généraux de la biosurveillance de la qualité de l'air., 12p.
- **Huynh T.M.D., 2009.** impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. thèse de doctorat en écologie microbienne à L'université Paris Est : Ecole Doctorale Science de la Vie Et de la Sante.,121p.
- **INSP (Institut National De Sante Public), 2007,** Bilan des données de pollution par les poussières au niveau d'Alger de 2001-2006, 27p.
- **J.O.R.A.D.P (Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire),, 2006.N°01.**
- **Julie Rigo., 2009.** CEPAG. pollution de l'air: quels impacts sur la santé.,28p.

Références Bibliographiques

- **Khifer L.M.,2012.** approche étho-écologique d'une population réintroduite du cerf de barbarie :cervuselaphusbarbarus bennett,1833) dans la foret de l'Akfadou,algerie. Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en biologie et ecologie des population et des communautés :option ecologie des population et des peuplements a l'universite Mouloud Mammerri De Tizi Ouzou. ,94p.
- **Koller E., 2004.** Eau-air-dechets-sols-boues.Ed. Bordas. Paris. Dunod, 257p.
- **Laurent B.,ARIANE C.,2012.**Les mousses liste rouge ,inventaire et initiation aux bryophytes du canton de geneve. conservatoire et jardin botaniques de la ville de geneve., 19-26p.
- **Le Houérou H.N., 1980.** Role of browse in the sahelian and sudanian zones. In: *Browse in Africa, the current state of knowledge*. H.N. Le Houérou (ed.), ILCA, Addis Ababa, Ethiopia.
- **Leblond S., Bouchera.,2011.** initiation a la bryologie :voyage au cœur de la vie secrete des mousses.,43p.
- **Lefevre R.A., AUSSET.,2004.** les effets de la pollution atmosphérique sur les metaux au patrimoine bati.la pierre et le verre : pollution atmosphérique N°172.,571-588,89p. lourds dans des céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la ville de Hammam Boughrara., Thèse En vue de l'obtention du Grade de Docteur en Science :Université Abou BekrBelkaid – Tlemcen., 213p.
- **Maiga B.M., 2014.** Biodétectionde la pollution atmosphérique (Plomb) à l'aide bioindicateurs végétal (Mousse) dans la région de Tiaret.Mémoire de fin d'études
- **Malbereil N.,1997.**la pollution en bordure d'autoroute et sont impact sur la vegetation.DESS :Ressources naturlles et environnement.université de METZ,CETE de l'est.,56P.
- **Marseille F.,2005 .** Pollution atmosphérique Origine des polluants et effets sur la santé. Ministère de l'Equipement des Transports du Logement du Tourisme et de la Mer. CETE de Lyon.
- **MATET., JICA., ONNED., 2008.** Compte rendu du séminaire Conjoint Algérie Japon pour une gestion efficace de l'Environnement. Alger.,102 p.
- **Matoug et al.,2010.**Cartographie de la pollution atmosphériquepar le plomb d'origine routière à l'aide de la transplantation d'un lichen bioaccumulateur Xanthoria parietinadans la ville de Tiaret (Algérie),.101p.

Références Bibliographiques

- **Mazoue S., 1994.** Impact du trafic routier sur l'environnement, La contamination du sol par voie aérienne. DESS Pollutions chimiques et environnement, Rapport SETRA-CSTR, B9411., 67p.
- **Mckone T.E.,BERKELEY L.,2010.**Relation entre la fraction exposante (if) de la population et la persistance environnementale.
- **Miquel M., Gérard., Sénateur., 2001.** les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé.,359p.
- **Nardin D.,2000.** L'embranchement des bryophytes ou mousses : Caractéristiques, Classification, Cycle de vie.
- **Nations Unies.,2003.** Études sur la pollution atmosphérique N 15., 74p.
- **Newton A.E.,WikströmN.,Bell N., Forrest L.L.,Ignatov M.S.,2007.** Dating the diversification of pleurocarpous mosses. In: A. E. Newton and R. S. Tangney, Pleurocarpous mosses: Systematics and Evolution. Taylor and Francis, Boca Raton, FL, USA., 337-366 p.
- **ONEDD.,2011**(Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable), Pollution atmosphérique et législation Algérienne : Atelier sous-régional sur les carburants propres, ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement.
- **Ozenda P.,1982** :Les végétaux dans la biosphere. Doin Ed.Paris.,468p.
- **Ramade F .,2005.** éléments d'écologie : écologie appliquée. Dunod. Paris., 256-305p.
- **Ramade F.,1995.**Elements d'écologie :écologie appliquée.5^{ème} Edition.Ed. discience International :89690.
- **Ramade F.,2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris : Dunod., 1075p.
- **Ramade F.,2003.** Eléments d'écologie - Ecologie fondamentale. Dunod. science sup.,690P.
- **Ramade F.,2007.** introduction à l'ecotoxicologie : fondements et applications. Lavoisier .,618p.
- **Rey-Debove R.,2009,** le robert et cle international :dictionnaire du francais ,rotoliti lombarda,Italie.,1232p.
- **Rigo J., 2009.** CEPAG. pollution de l'air: quels impacts sur la santé., 28p.
- **Saitanis N, C.J., Karandinos M.G., 2001.**instrumental recording and biomonitoring of ambient ozone in the Greek countryside. Chemosphere.,813-821 P.

Références Bibliographiques

- **Scalair**(Association Calédonienne de Surveillance de la Qualité de l’Air) **,2011**. mesure des métaux lourds dans l’air ambiant à Nouméa.,62p.
- **Seigneur C., 2013**. Émissions des polluants atmosphériques., 12p.
- **Sirven J.B., 2006**. Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d’émission sur plasma induit par laser (LIBS)., 253p.
- **Sportisse B., 2003**. Modélisation de la pollution atmosphérique. Cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées., 73p.
- **Stéphanie A., Emmanuel B., Marie B., François H., Flprence K., Laurence L., Le Herissier M., Stéphanie L., 1997**. Les métaux lourds., 48p.
- **www.tutiempo.net**
- **Yala Y.,2014**, Comparaison chronologique de l’inventaire floristique des groupements végétaux halophytes de quelques stations au Nord-est de Tlemcen. mémoire En vue de l’obtention du Diplôme de Master En Ecologie et environnement Option : Ecologie végétal et Environnement a L’université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.,92p.
- **Yamani ME.,2006**. Pollution atmosphérique urbaine :Environnements Et Milieux.
- **Yanim M E., 2006**. Pollution atmosphérique urbaine., 6p.
- **Zerrouki D.,2013**. Phytoremédiation d’un sol agricole contaminé par les métaux lourds (Pb, Zn et Cu) en milieu routier à l’aide de l’orge *Hordeumvulgare.L* et de tournesol *Helianthusannus.L*. thèse de doctorat en sciences : université djillaliliabes de sidi bel abbes.,178p.
- **ZohraB.F et al.,2014**. Biosurveillance de la qualité de l’air a l’aide des mousses au niveau de la ville de Tlemcen. Mémoire en vue de l’obtention du diplôme de master académique : université Ibn Khaldoun de Tiaret ,57p.

Résumé

L'objectif de ce travail a été de faire le diagnostic de la qualité de l'air à l'aide de mousses transplantés dans différents sites au niveau de la wilaya de Tlemcen (Algérie) et d'effectuer une étude comparative entre la ville de Tlemcen et Tiaret. Bien que la wilaya soit dotée d'infrastructures industrielles, la pollution du centre-ville est essentiellement d'origine routière, car les industries sont implantées en périphérie.

Les émissions de métaux lourds se font généralement sous forme de particules fines, cumulées par les mousses par absorption ou adsorption.

Après analyse, nous avons obtenus des résultats qui oscillent entre un minimum de 200µg/g et un maximum de 772µg/g.

Le traitement à travers le logiciel statistica nous donne via la classification automatique trois groupes de stations selon leur concentration en plomb.

La comparaison avec les résultats d'une autre espèce de lichen (*xanthoria parietina*) transplanté dans la wilaya de Tiaret montre que les mousses accumulent plus de plomb par rapport aux lichens et que Tlemcen présente plus de pollution par le plomb par rapport à la ville de Tiaret.

Mots clés : Biosurveillance, qualité de l'air, métaux lourds, mousse, Tlemcen.

Abstract

The objective of this work was to make the diagnosis of air quality with mosses transplanted into different sites in the wilaya of Tlemcen (Algeria). Although wilaya be equipped with industrial infrastructure, pollution of downtown is basically roadside origin, as industries are located in the periphery.

Heavy metal emissions are generally in the form of fine particles accumulated by the mosses by absorption or adsorption.

After analysis, we obtained results that range from a minimum of 200 microg / g and a maximum of 772µg / g.

Treatment through the software Statistica gives us through automatic classification three groups of stations according to their concentration of lead.

The comparison with the results of another species of lichen (*xanthoriaparietina*) transplanted in the wilaya of Tiaret shows that mosses accumulate more lead compared to lichens and Tlemcen has more lead pollution over the city Tiaret.

Keywords: Biomonitoring, air quality, heavy metals, foam, Tlemcen.