

N° d'ordre.....

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

M^{elle} OMAR Yamina

Spécialité : Sciences de l'Environnement

Option : Environnement

Intitulée

Bioaccumulation de quelques métaux lourds (Pb, Zn et Cu) d'origine routière au moyen d'une mousse (Bryum argenteum Hedw) dans la ville de Tiaret (Algérie) : classes de pollution et cartographie.

Soutenue le/...../.....

Devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Pr BENYAHIA Mohamed..... (Professeur /SBA)

Examineurs : Dr AMIRAT Mokhtar..... (M.C.A, Univ. Tiaret)

Dr ZRARKA Abdelkader..... (M.C. A, Univ. Tiaret)

Directeur de thèse : Pr MAATOUG M'hamed..... (Professeur, Univ. Tiaret)

Co-Directeur de thèse : Pr HELAL Benchaben..... (Professeur, UDL/SBA)

Année universitaire 2014 – 2015

Remerciements

Je remercie Allah tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans mes études, qui m'a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever ce travail.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à mes deux directeurs de thèse, sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour

Je tiens à présenter mes humbles et sincères remerciements ainsi que toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude à mon directeur de thèse Pr MAATOUG M., professeur à l'université Ibn khaldoun Tiaret, pour toute son aide et ces précieux conseils ainsi que pour l'attention soutenue qu'il m'a manifesté par ces encouragements incessants, et surtout pour ça patience et compréhension. Je le remercie également pour la confiance qu'il m'a accordé au cours de la réalisation de cette thèse.

J'adresse un remerciement particulier à mon co-directeur de thèse Pr HELLAL B, pour tout son dévouement lors de mon encadrement.

Je remercie Pr BENYAHIA M de m'avoir honoré comme Président de jury

Je remercie également Dr AMIRAT M et Dr ZRARKA A d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens a remercié également le personnel du laboratoire d'écologie et de biochimie de la faculté science de la nature et de la vie, en particulier Mme Mimoune Hadjer ; Bensatal Karima ainsi que le personnel de la bibliothèque de la faculté pour leur aides et dévouements lors de la réalisation de mon travail. Je remercie vivement Mr Azzaoui; Mr Neggadi et M^{elle} Soudani pour leurs soutiens et leur présences tout le long de mon travail.

Je remercie le personnel du service des cartes grises de la wilaya de Tiaret surtout M_{me} Tati. Je tiens également a remercié le personnel de la direction de l'environnement en particulier M_{me} Sofiane Hamida, Mr Mboudi Mabrouk.

Je remercie également le service hospitalier de la ville de Tiaret, particulièrement Mr Baghani, pour son aide précieuse. Enfin je tiens à remercie spécialement Mr Dahmani et Mr Hachemie pour leurs aides précieuses lors de la réalisation de cette thèse.

DEDICACE

Je dédie cette thèse

*A l'être qui m'est le plus cher au monde ; ma
mère.*

*A toi douce maman, pour tout l'amour et le
courage un très grand honneur pour moi de te
dédier cette thèse.*

A mon cher frère Laâredj.

A mon beau frère: Djillali.

A mes deux chères sœurs : Kheïra et Nebia.

A ma belle sœur : Fatîha.

A mes très chers neveux: Adem et Idriss.

A ma cher nièce : Houria

A mes amis (es)

A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin.

إلى روح أبي ، أهدي هذه الثمرة التي لا تضاهي شيئاً من

جميلك وأدعوا الله الرحيم الحليم أن يجعلها صدقة جارية

تصل إليك, و أدعو لك الرحمة و المغفرة إلى أن يجمعنا رب

العباد في الجنة إن شاء الله.

TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE 1

PARTIE I: Recherche bibliographique

Chapitre I: Pollution atmosphérique liée aux trafics routiers

Introduction	4
1.1. Définition de l'air	4
1.2. Définition de la pollution atmosphérique.....	5
1.3. Echelle de pollution de l'air	6
a. Au niveau planétaire.....	7
b. Au niveau régional	7
c. Au niveau local.....	7
1.4. Emissions, transformation et dépôts de polluants.....	7
1.5. Facteurs météorologiques influent la dispersion des polluants.....	10
1.5.1. La pression atmosphérique.....	10
1.5.2. Le vent.....	10
1.5.3. La température.....	10
1.5.4. L'humidité.....	11
1.5.5. Les précipitations	11
1.5.6. La turbulence atmosphérique	11
1.5.7. La nébulosité	11
1.5.8. La topographie.....	11
1.6. Dépôt des polluants	11
1.7. Les principaux polluants de l'atmosphère.....	12
1.8. Généralités sur les métaux lourds	15
1.8.1. Définition.....	15
1.8.2. Les différentes sources des métaux lourds	16
1.8.2.1. Les sources d'origine naturelles	16
1.8.2.2. Les sources d'origine anthropiques	16

1.8.3. Toxicité des métaux lourds	17
1.8.4. Quelques métaux lourds et leurs caractéristiques	17
1.8.5. Contamination de l'environnement par les métaux lourds	20
1.8.6. Impact des éléments traces métalliques sur la santé humaine	21
1.8.7. Législation et normes de rejet	21
1.8.7.1. Législation Algérienne.....	21
1.8.7.2. Législation Internationale.....	22
1.9. Pollution atmosphérique liée aux trafics routiers.....	23
1.9.1. Etat générale du secteur transport routier en Algérie.....	25
1.9.2. Différents type des carburants.....	26
1.9.3. La pollution d'origine routière	28
1.9.4. Les métaux lourds	28

Chapitre II: Concepts de biosurveillance

Introduction	30
2.1. Définition.....	30
2.2. Stratégie de mise en œuvre de la bio-surveillance.....	32
2.2.1. La méthode <i>in situ</i>	32
2.2.2. La méthode des transplants	33
2.3. Organismes utilisés pour la bioaccumulation végétale des éléments traces métalliques.....	35
2.3.1. Les lichens.....	35
2.3.2. Les mousses.....	36
2.3.2.1. Mécanisme de piégeage des particules de l'air et des métaux lourds	38
2.3.2.2. Facteurs influent sur les concentrations de métaux traces dans la mousse.....	39
2.3.3. Les végétaux supérieurs	40
Introduction	43

Chapitre III: Généralités sur les bryophytes

3.1. Systématique des bryophytes	43
3.2. Biologie et morphologie des bryophytes.....	44
3.3. Cycle de vie	46
3.4. Ecologie des bryophytes.....	48
3.5. Les facteurs influents les bryophytes	49

3.5.1. Les facteurs atmosphériques influents les bryophytes.....	49
3.5.1.1. L'humidité.....	49
3.5.1.2. La lumière.....	49
3.5.2. Facteurs édaphiques	50
3.5.2.1. La nature physique du substrat.....	50
3.5.2.2. Le pH.....	50
3.6. Biogéographie	51
3.7. Utilisation des bryophytes comme bio-indicateurs.....	51

PARTIE II: Partie expérimentale

Chapitre I: Généralités sur la ville de Tiaret

1.1. Cadre géographique.....	55
1.2. Cadre topographique	56
1.3. Cadre climatique.....	56
1.3.1. Pluviométrie	56
1.3.2. Température.....	57
1.4. Facteurs climatiques annexes	59
1.4.1. Humidité.....	59
1.4.2. Le Vent.....	59
1.5. Synthèse climatique.....	60
1.5.1. Le diagramme Ombrothermique	60
1.5.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	60
1.6. Végétation	62
1.7. Réseau routier de la wilaya de Tiaret.....	62
1.8. Le parc automobile de la wilaya de Tiaret	63
1.9. Présentation de la commune de Tiaret	64
1.10. Voies de communications	65
1.10.1. Consistance du réseau routier interne	65
1.10.2. Le réseau routier externe	65
1.10.2.1. Les routes nationales.....	65
1.10.2.2. Les chemins de la wilaya.....	66
1.10.2.3. Etat du réseau.....	66
1.10.2.4. Les voies pénétrantes.....	66

1.11. Le parc automobile de la commune de Tiaret.....	67
1.12. Stockage et distribution de carburants	67
1.12.1. Capacité de stockage installation intégrée de distribution	67

Chapitre II: Mise en place du protocole expérimental

Introduction	68
2.1. Techniques de transplantations de <i>Bryum argenteum</i> .Hedw	68
2.2. Choix du site de prélèvement de <i>Bryum argenteum</i> .Hedw.....	70
2.3. Choix de l'espèce	73
2.3.1. Systématique de <i>Bryum argenteum</i> . Hedw	74
2.4. Choix du métal	76
2.5. Préparation des échantillons au laboratoire.....	76

Chapitre VI: Résultats et discussions

3.1. Etude de la variabilité des teneurs en métaux lourds dans la mousse <i>Bryum argenteum</i> .Hedw :	78
3.2. Classes de la pollution de la zone d'investigation	80
3.2.1. Cas du plomb.....	80
3.2.2. Cas du zinc	83
3.2.3. Cas du cuivre	86
3.3. Cartographie	92
3.3.1. Carte de pollution atmosphérique par le plomb	92
3.3.2. Carte de pollution atmosphérique par le Zinc	94
3.3.3. Carte de pollution atmosphérique par le cuivre	97
3.4. Evolution de la pollution atmosphérique par le plomb et le zinc dans le milieu urbain de Tiaret (du 2010 au 2014).....	102
3.5. Cas du Cuivre	108
3.6. Conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique par les métaux lourds	110
3.6.1. Effet du plomb sur la santé humaine.....	111
3.6.2. Effet du zinc sur la santé humaine	112
3.6.3. Effet du cuivre sur la santé humaine	112
3.6.4. Effet de la pollution de l'air sur la population Tiaretienne	113

Conclusion générale et perspectives

Références Bibliographiques

LISTE DES ABREVIATIONS

Al : aluminium

ANDI : Agence Nationale de Développement de l'Investissement

BPCO : Bronchopneumopathie Chronique

Ca²⁺: ion calcium

Cd: cadmium

Cr : chrome

CEE: communauté Economique Européenne

CERTU : Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

CH₃Hg : le méthyl-mercure

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

Co: monoxyde de carbone

CW : Chemin Wilaya

Cu : Cuivre

ETM : Eléments Trace Métallique

Fe : fer

g.ml⁻¹ = mg/l : milligramme par litre

H⁺: ion hydrogène

Ha : Hectare

HAP: Hydrocarbure Poly Aromatique

Km/h: Kilomètre par heure

mg/m³: Milligramme par mètre cube

Mg⁺⁺ : ions de magnésium

Mn: Manganèse

Ni : nickel

NO: Nobelium

NO_x : oxyde d'azote

NO : oxyde d'azote

NO₂ dioxyde d'azote

O₃ : ozone

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

ONS : Office National des Statistiques

Pb : Plomb

Pb⁺⁺ : ions de plomb

PCB : Polychlorobiphényle (composé aromatique)

PM₁ : Particule dont le diamètre est inférieur à 1 micromètre.

PM₁₀ : Particules de diamètre inférieur à 10 micromètres

PM_{2,5} : Particules de diamètre inférieur à 2,5 micron

PRQA : Plan Régional de la Qualité de l'Air

RN : route nationale

SO₂ : Dioxyde de soufre

TSP : Particules Totales en Suspension

Zn : Zinc

Zn⁺⁺ : ions de zinc

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Tableau périodique des éléments	15
Tableau 02 : Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la Directive Européenne	23
Tableau 03 : Répartition des immatriculations et reimmatriculations du premier semestre 2014 selon le genre et l'année de mise en circulation	26
Tableau 04: Teneurs en métaux traces de divers fluides	29
Tableau 05 : Flux polluants issus des infrastructures routières estimés par Pagotto (1999) ..	29
Tableau 06 : Comparaison entre la méthode in situ et la méthode des transplants	34
Tableau 07 : Humidité moyenne durant 2003-2014	59
Tableau 08: Vitesse moyenne du vent durant 2003-2014.....	59
Tableau 09 : Statistiques descriptives sur les concentrations des éléments traces métalliques (en $\mu\text{g/g}$) dans la mousse <i>Bryum argenteum</i> Hedw.....	78
Tableau 10: Statistique descriptive de classe de pollution en plomb ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique	81
Tableau 11: Statistique descriptive de classe de pollution par le zinc ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique	83
Tableau 12: Statistique descriptive de classe de pollution par le cuivre ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique	86

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Cycle de la pollution atmosphérique	08
Figure 02: Etendue des concentrations de polluants secondaires	09
Figure 03: Processus de transfert des polluants atmosphériques	12
Figure 04: Les immatriculations et réimmatriculation au premier semestre 2014.....	25
Figure 05 : structure basique de mousse acrocarpe	45
Figure 06 : structure basique de mousse pleurocarpe.....	46
Figure 07 : cycle de développement d'une mousse.....	48
Figure 08: Carte de la situation géographique de la wilaya de Tiaret.....	55
Figure 09 : Les précipitations interannuelles (mm) de la région de Tiaret entre 1998 et 2014	57
Figure 10 : Les températures moyennes interannuelles (°C) de la région de Tiaret entre 1998 et 2014	58
Figure 11: Diagramme ombrothermique de Gaussen	60
Figure 12: Diagramme d'EMBERGER	61
Figure 13: Carte du réseau routier de la wilaya de Tiaret	63
Figure 14: Répartition du parc automobile de la wilaya de Tiaret selon les classes d'âges ...	64
Figure 15 : carte caractéristique des routes nationales de la wilaya de Tiaret	66
Figure 16: Parc automobile de la commune de Tiaret selon le type de carburant	67
Figure 17: La mousse (<i>Bryum argenteum</i> .Hedw) transplantée dans la ville de Tiaret	70
Figure 18 : Localisation du site de prélèvement par rapport à la ville de Tiaret.....	71
Figure 19: Localisation des transplants des mousses dans la ville de Tiaret	72
Figure 20: La mousse <i>Bryum argenteum</i> .Hedw utilisée	74
Figure 21 : Pied et feuille de <i>Bryum argenteum</i> .Hedw	75
Figure 22 : Concentration ($\mu\text{g/g}$) des éléments trace métalliques (Pb, Zn et Cu) dans la mousse <i>Bryum argenteum</i> Hedw.....	79
Figure 23: Classification automatique des concentrations du plomb ($\mu\text{g/g}$) récoltées dans les différentes stations de la ville de Tiaret	80
Figure 24 : Teneurs en plomb dans les différentes classes de pollution	82
Figure 25 : Classification automatique des teneurs en zinc ($\mu\text{g/g}$) récoltées dans les différentes stations de la ville de Tiaret	83
Figure 26 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution.....	85

Figure 27 : Classification automatique des teneurs en cuivre ($\mu\text{g/g}$) récoltées dans les différentes stations de la ville de Tiaret	86
Figure 28 : Teneurs en cuivre ($\mu\text{g/g}$) au sein des différentes classes de pollution.....	87
Figure 29 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).....	93
Figure 30 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).....	96
Figure 31 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).....	99
Figure 32: Evolution de l'état de pollution plombique dans le milieu urbain de Tiaret durant la période de 2010 au 2014	104
Figure 33 : Evolution de l'état de pollution par le zinc dans le milieu urbain de Tiaret durant la période de 2012 au 2014	106
Figure 34 : Localisation de la zone d'étude	110
Figure 35 : Comparaison entre les teneurs en cuivre ($\mu\text{g/g}$) accumulées par les arbres (le platane et le cyprès) et celles accumulées par les mousses <i>Bryum argenteum</i> . Hedw transplantées dans la ville de Tiaret	111
Figure 36 : Nombre d'asthmatiques hospitalisé durant le premier semestre 2014	116

Résumé

Les mousses sont couramment utilisées comme sentinelles de la pollution métallique atmosphérique, à cause de leurs propriétés morphologiques et physiologiques (l'absence de système racinaire et de tissus conducteurs développés). En effet, les mousses sont utilisées pour évaluer les concentrations du plomb, zinc et cuivre émis par les véhicules dans l'atmosphère de la ville de Tiaret (Ouest Algérien); tel fut l'objet de ce travail de recherche.

La mousse *Bryum argenteum*.Hedw est utilisée, dans cette étude, en tant que bio-moniteur passif des éléments traces métalliques qui sont émis par le trafic routier.

Les résultats obtenus montrent que la ville de Tiaret est endurée d'une pollution atmosphérique importante, puisque les teneurs, dans *Bryum argenteum*.Hedw, du plomb sont considérablement élevés avec un maximum de 584 µg/g. Les teneurs du zinc, extrêmement élevées, sont illustrées par un maximum de 1170 µg/g, tandis que le cuivre enregistre des valeurs faibles comparativement au plomb et au zinc, en effet il enregistre un maximum de 350 µg/g.

La classification automatique des 41 sites, a permis de ressortir les résultats suivants :

* 04 classes de pollution par le plomb, dont le taux de concentration varie en moyenne de $184,50 \pm 14,90$ µg/g à $543,78 \pm 30,41$ µg/g ; ces valeurs sont nettement supérieures à celles des sites témoins $14,75 \pm 3,30$ µg/g.

* 04 classes de pollution atmosphérique par le zinc sont observées, les teneurs du zinc varie en moyenne de $1041 \pm 81,98$ µg/g à $330 \pm 70,71$ µg/g. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins qui sont de $39,75 \pm 7,84$ µg/g de moyenne.

* 03 classes de pollution par le cuivre sont avisées, les concentrations sont en moyennes, pour l'ensemble des classes, de $310 \pm 22,03$ µg/g à $108,23 \pm 24,55$ µg/g. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins qui ont une moyenne de $14 \pm 2,94$ µg/g.

La comparaison des cartes de pollution par le zinc et le plomb, a permis de constater, que l'état de l'air de la ville de Tiaret c'est aggravé au bout de quatre ans. En effet, il a été enregistré, au cours de l'année 2010, un maximum de 248 µg/g en 2010 pour les teneurs en Plomb, contre un maximum de 584 µg/g au cours de 2014.

Tandis que le maximum enregistré en 2014 par le zinc est de 1927 µg/g a contrario en 2010 été enregistré 1665 µg/g.

Suite aux résultats obtenus de la comparaison des teneurs obtenus par la mousse *Bryum argenteum*.Hedw, le cyprès toujours vert *Cupressus sempervirens*.L et le platane *Platanus*

acerofovia.Willd, nous observons une oscillation des teneurs en cuivre entre les différentes espèces. La capacité d'accumulation du cuivre par *Bryum argenteum.Hedw* est très élevée par rapport à celle des arbres, en effet elle en moyenne de $179,25 \pm 83,34 \mu\text{g/g}$ alors que les moyennes enregistrées par le platane et le cyprès sont respectivement de $27,90 \pm 5,57 \mu\text{g/g}$; $17,39 \pm 1,76 \mu\text{g/g}$.

En considérant nos résultats et ceux obtenus suites aux travaux antérieurs, nous avons discernés que la ville de Tiaret endure d'une pollution atmosphérique sévère au cours des quatre dernières années (de 2010 à 2014). Cela est probablement dû au mauvais état des routes de la ville et à l'augmentation du nombre de voitures.

Les résultats trouvés ont montré que les mousses peuvent servir de bio-moniteurs efficaces des métaux lourds (Pb, Zn et Cu). En effet les mousses peuvent constituer des réseaux d'espèces bio-indicatrices de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante pour établir un diagnostic de la qualité de l'air.

Compte tenu du caractère grave de la pollution de l'air à Tiaret, nous avons effectué une enquête sur les maladies respiratoires au cours de l'année 2011 et 2014.

Au cours du premier semestre de 2014, l'établissement public hospitalier de Tiaret à enregistré 273 cas admis pour problème d'asthmes dont 10 % sont âgés de moins de 1 an.

L'enquête dans les établissements scolaires de la ville de Tiaret, a permis de relever que les écoles situées dans les sites très pollués, avaient chaque année une dizaines de nouveaux cas d'asthme et des problèmes respiratoires.

Alors que dans les zones où la pollution atmosphériques est mineure, les établissements scolaires ne endurent pas autant de ces maladies que ce soit respiratoires où cardiaques en revanche reste toujours le problème des allergies mais moins grave que les établissements localisés dans les zones polluées.

Mots clés: Trafic routier, Pollution atmosphérique, plomb, zinc, cuivre, *Bryum argenteum.Hedw*, cartographie, Tiaret

Summary

The mosses are widely used as sentinels of the pollution atmospheric metal, for their morphological and physiological properties (the absence of root system and tissue developed conductors). In effect, the mosses are used to assess the concentrations of lead, zinc and copper emitted by vehicles in the atmosphere of the city of Tiaret (Western Algeria); such was the object of this research work.

Mosses *Bryum argenteum*. Hedw is used, in this study, as bio- monitor passive elements of metal traces that are emitted by road traffic.

The results obtained show that the city of Tiaret is polluted, because the lead levels (Pb) in *Bryum argenteum*. Hedw, are considerably high with a maximum of 584 $\mu\text{g/g}$. The levels of zinc, extremely high, are illustrated by a maximum of 1170 $\mu\text{g/g}$, whereas the copper recorded low values compared to the lead and zinc, in effect it stores a maximum of 350 $\mu\text{g/g}$.

The automatic classification of 41 sites, has helped to highlight the following results:

* 04 Classes of pollution by lead, whose rate of concentration varies on average of $184.50 \pm 14.90 \mu\text{g/g}$ to $543.78 \pm 30.41 \mu\text{g/g}$; these values are much higher than those of sites witnesses $14.75 \pm 3.30 \mu\text{g/g}$.

* 04 Classes of atmospheric pollution caused by the zinc are observed, the levels of zinc varies on average of $1041 \pm 81.98 \mu\text{g/g}$ to $330 \pm 70.71 \mu\text{g/g}$. These levels are higher compared to foams witnesses who are of $39.75 \pm 7.84 \mu\text{g/g}$ of average.

* 03 Classes of pollution by copper are advised, the concentrations are in medium, for all classes, $310 \pm 22.03 \mu\text{g/g}$ to $108.23 \pm 24.55 \mu\text{g/g}$. These levels are higher compared to foams witnesses who have an average of $14 \pm 2.94 \mu\text{g/g}$.

A comparison of the maps of pollution by the zinc and lead, has allows you to note, that the condition of the air in the city of Tiaret that is compounded at the end of four years. In effect, it has been recorded, in the course of 2010, a maximum of 248 $\mu\text{g/g}$ in 2010 for lead levels, against a maximum of 584 $\mu\text{g/g}$ in the course of 2014.

While the maximum recorded in 2014 by the zinc is of 1927 $\mu\text{g/g}$ a contrario in 2010 been recorded 1665 $\mu\text{g/g}$.

Following the results obtained from the comparison of the levels obtained by the mosse *Bryum argenteum*. Hedw, the green cypress (*Cupressus sempervirens*.L) and the plane

tree (*Platanus acerifolia*.Willd.), we observe an oscillation of copper contents between the different species. The capacity for accumulation of copper by *Bryum argenteum*.Hedw is very high compared to that of the trees, in effect it on average of $179.25 \pm 83.34 \mu\text{g/g}$ while the averages recorded by the plane tree and the cypress trees are respectively $27.90 \pm 5.57 \mu\text{g/g}$; $17.39 \pm 1.76 \mu\text{g/g}$.

In considering our results and those obtained suites to previous work, we have discerned that the city of Tiaret suffers from air pollution severe over the past four years (from 2010 to 2014). This is probably due to the poor state of the roads of the city and to the increase in the number of cars.

The found results have shown that the mosses, can serve as a bio- monitors of heavy metals (Pb, Zn and Cu). In effect the mosse can build networks of species bio-indicator of air pollution, the use of which has proved to be particularly a simple method, flexible, economic and efficient to establish a diagnosis of the quality of the air.

Given the serious nature of the pollution of the air in Tiaret, we carried out a survey on respiratory diseases during 2011 and 2014.

During the first half of 2014, the public establishment of hospital to Tiaret registered 273 cases administered for problem of asthma including 10 % are under the age of 1 year.

The survey in the schools of the city of Tiaret, helped raise that schools located in the sites very polluted, had each year a dozens of new cases of asthma and respiratory problems.

Whereas in the areas, where the atmospheric pollution is a minor, the schools do not suffer as much from these diseases that this either respiratory or heart on the other hand always remains the problem of allergies but less serious than the establishments located in polluted areas.

Keywords: road traffic, air pollution, lead, zinc, copper, *Bryum argenteum*. Hedw, cartography, Tiaret.

المخلص

تهدف هذه الدراسة الى تقييم تركيزات الرصاص والزنك والنحاس المنبعثة من المركبات في جو مدينة تيارت (غرب الجزائر) ; اذ ان الحزازيات تستعمل على النطاق واسع في دراسات التلوث الجوي، بسبب خصائصها مورفولوجية وفيزيولوجية (غياب نظام الجذر و الأنسجة الناقلة المتطورة).

الحزازية *Bryum argenteum.Hedw* هي التي استخدمت في هذه الدراسة، من اجل رصد المعادن الثقيلة التي تنبعث من حركة المرور على الطرق .

النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى أن هواء مدينة تيارت ملوث، وهذا بسبب نسبة الرصاص الكبيرة المسجلة في *Bryum argenteum. Hedw*، حيث تصل نسبته كحد الأقصى $584 \mu\text{g/g}$. مستويات الزنك عالية للغاية كما يتضح ذلك من نسبته التي تصل الى $1170 \mu\text{g/g}$ ، في حين أن قيم النحاس المسجلة منخفضة مقارنة بالرصاص وبالزنك، في الواقع تصل نسبته كحد أقصى $350 \mu\text{g/g}$.

التصنيف التلوثي ل 41 موقعا ، قد ساعد على تسليط الضوء على النتائج التالية:

* 04 فئات من التلوث بالرصاص ، الذي يختلف حسب التركيز المتوسط من $184,50 \pm 14.90 \mu\text{g/g}$ الى

$30,41 \pm 543,78 \mu\text{g/g}$ هذه القيم أعلى بكثير من قيم الشهود $14,75 \pm 3,30 \mu\text{g/g}$;

* 04 فئات من التلوث الجوي بالزنك، المستويات تتفاوت من $1041 \pm 81.98 \mu\text{g/g}$ الى $330 \pm 70.71 \mu\text{g/g}$ هذه المستويات أعلى بالمقارنة بالشهود الذين هم من $39.75 \pm 7.84 \mu\text{g/g}$.

* 03 فئات من التلوث بالنحاس التركيزات متوسطة تتراوح على جميع الفئات من $310 \pm 22.03 \mu\text{g/g}$ الى $108.23 \mu\text{g/g}$ هذه المستويات أعلى بالمقارنة مع الشهود الذين يبلغ 14 بوصة $2.94 \mu\text{g/g}$.

دراسة حالة الجو بمدينة تيارت بواسطة الخرائط ، قد سمحت بمعرفة أن حالة الجو قد تدهورت خلال الاربع السنوات الاخيرة و ان نسبة التلوث بالزنك والرصاص قد تفاقمت ، حيث انه تم تسجيل نسبة الرصاص كحد أقصى اثناء 2010 $248 \mu\text{g/g}$ اما في 2014 مستويات الرصاص وصلت كحد الأقصى $584 \mu\text{g/g}$. بينما مستويات الزنك سجلت في 2014 كحد أقصى $1927 \mu\text{g/g}$ على نقيض 2010 المستويات المسجلة كانت 1665 $\mu\text{g/g}$.

من النتائج المتحصل عليها من المقارنة بين مستويات في الحزازية *bryum argenteum.Hedw* أوراق أشجار *Cupressus sempervirens; Platanus acerofolia willd.* نلاحظ التذبذب مستويات النحاس بين مختلف الأنواع. القدرة على تراكم النحاس في *Bryum argenteum.Hedw* مرتفعة جدا بالمقارنة مع الاشجار. مستويات الزنك في الحزازية كانت $179.25 \pm 83.34 \mu\text{g/g}$ بينما المستويات المسجلة في شجرة *Platanus acerofolia willd* وشجرة السرو الاخضر على التوالي $27.90 \pm 5.57 \mu\text{g/g}$ و $17.39 \pm 1.76 \mu\text{g/g}$.

في ضوء النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة و الاعمال السابقة، قد تبين لنا أن مدينة تيارت تعاني من تلوث شديد للهواء خصوصا خلال السنوات الأربع الماضية من 2010 إلى 2014 و يرجح السبب ذلك التدهو نوعية الجو و سوء حالة الطرق في المدينة و الى زيادة عدد السيارات .

أظهرت النتائج أنه يمكن استخدام الحزازيات كحراس التلوث الجوي بالمعادن الثقيلة (Pb) (Zn) (Cu) . في الواقع الحزازيات يمكن ان تكون شبكات مراقبة من الانواع البيولوجية لمؤشر تلوث الهواء اذ اثبت أن هذه الطريقة بسيطة مرنة، وكفاءة للتشخيص نوعية الهواء.

بالنظر إلى خطورة تلوث الهواء في مدينة تيارت، قمنا بإحصاء حالات أمراض الجهاز التنفسي خلال 2011 و 2014 .

خلال النصف الاول من العام 2014 إنشاء قام مستشفى مدينة تيارت بتسجيل 273 حالة بسبب الربو منهم 10 % عمرهم من سن 1 و اقل .

التحقيق الذي اجري في مدارس مدينة تيارت ساعد على اكتشاف ان المدارس متواجدة في الاماكن التي تتميز بارتفاع نسبة التلوث الجوي بالمعادن الثقيلة ، تسجل كل سنة العشرات من حالات جديدة من الربو ومشاكل التنفس، الى جنب 3 إلى 4 حالات جديدة من مرض السكري .

بينما في المناطق التي بها التلوث الجوي قليل، الاطفال في هذه المدارس لا يعانون من هذه الأمراض من جهة أخرى تبقى دائما هناك مشكلة الحساسية ولكن أقل خطورة من المؤسسات الموجودة في المناطق الملوثة.

بفضل هذا التحقيق، لاحظنا أن الأطفال يعانون أكثر فأكثر من مشاكل المتابعة و التركيز، وفقا لما ذكره مسؤولو المدارس ان حالات الاضطرابات النفسية، الكلامية و السلوكية تتزايد بكثرة.

الكلمات المفتاحية: حركة المرور، تلوث الهواء، الرصاص، الزنك، النحاس *Bryum argenteum. Hedw* ، رسم الخرائط، تيارت.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Durant le dernier siècle, l'industrialisation et l'essor des transports ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la société. Ces activités étaient synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. Mais depuis, la prise de conscience quant aux conséquences environnementales n'a cessé de croître. En effet, de grandes quantités de substances chimiques sont relâchées dans l'environnement, la plupart d'entre elles étant considérées comme dangereuses. L'introduction de ces composés implique des risques sérieux non seulement pour l'environnement et les organismes vivants, mais aussi pour la santé humaine.

Le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds rejetés dans l'environnement (Delmas-Gadras, 2000 ; Rzepka et Cuny, 2008).

Effectivement, les éléments traces métalliques, autrefois appelés métaux lourds ou métaux toxiques, sont essentiellement émis lors de la mise en œuvre des procédés industriels (fonderies, usines sidérurgiques et métallurgiques...), mais aussi lors des combustions de pétrole et de charbon, ou encore des déchets ménagers. Le trafic routier (rejets et usure des véhicules et des infrastructures) contribue également aux émissions atmosphériques d'éléments traces métalliques (Pagotto, 1999 ; Deletraz, 2000).

La pollution d'origine routière, liée aux émissions du moteur à l'échappement, à l'usure des véhicules, de la chaussée et des équipements de la route, constitue une pollution chronique qui affecte directement l'environnement de proximité via les eaux de ruissellement et les dépôts atmosphériques secs et humides (Branchu et *al.*, 2013).

En Algérie, selon le ministère de l'Environnement (2010), le secteur des transports occupe le premier rang en termes d'émissions des polluants atmosphériques avec 51%, suivi de l'industrie avec 47,25%. Les polluants libérés dans l'atmosphère ont des effets particulièrement néfastes et ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques et quelquefois sévères apparaissant chez les populations (Maatoug et *al.*, 2011).

Le plomb, le zinc et le cuivre appartiennent à cette famille d'éléments et présentent un caractère toxique pour la santé et l'environnement quand il dépasse la gamme étroite des concentrations (Chiffolleau et *al.*, 2001 ; Casas, 2005).

Le plomb est principalement rencontré dans les gaz d'échappement et dans les garnitures de freins (75% du plomb contenu dans l'essence est émis dans les gaz d'échappement des moteurs) (Deletraz, 2002).

Le plomb est, en effet, une espèce hautement toxique au-delà d'une certaine concentration, qui possède la capacité de se concentrer le long de la chaîne alimentaire et de s'accumuler dans certains organes du corps humain (Förstner et Wittman, 1979 ; Nriagu, 1987).

Le zinc, en revanche, est un élément essentiel à la vie biologique, mais il peut devenir toxique au delà d'une certaine concentration. (Legret et *al.*, 1988 ; Persicani, 1995 ; Mc Bride et *al.*, 1997; Planquart et *al.*, 1999 ; Walter et Cuevas, 1999).

Le Zinc est un polluant qui provient de l'abrasion et la corrosion des matériaux solides du véhicule et en partie à l'utilisation des différents fluides, des peintures antisalissure qui renferment des quantités importantes d'oxyde de zinc utilisé comme adjuvant anticorrosion. Non seulement il s'accumule dans l'organisme humain et provoque des effets toxiques à court, moyen et long terme, il présente aussi une menace pour les plantes du fait de son accumulation au niveau du sol, c'est pourquoi il n'ya pas beaucoup de diversité des plantes près des usines manipulant le zinc (Zerrouki, 2013).

Les freins constituent une importante source de cuivre. Ces polluants s'accumulent dans les écosystèmes et, au-delà de certains seuils, ils deviennent toxiques.

La surveillance des teneurs en éléments traces métalliques obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques sophistiquées et coûteuses. En dehors des différentes techniques dynamiques ou statistiques pour la détection et la quantification de ces derniers, existe une méthode biologique axée sur l'utilisation de bioindicateurs ou bioaccumulateurs, car nous savons que les végétaux et plus particulièrement les mousses, les lichens et les végétaux supérieures présentent souvent des altérations morphologiques et structurales et des modifications physiologiques bien avant que n'apparaissent les moindres symptômes chez les animaux y compris chez l'homme (Khelil et Alioua, 2006).

L'utilisation de mousses terrestres comme bio-indicateurs d'éléments trace métalliques atmosphériques a été utilisées avec succès au cours des 30 dernières années dans différentes parties du monde, comme le montre les travaux de : Ruhling et *al.*, 1969 ; Tyler, 1990 ; Grodzinska et *al.*, 1990 ; Gjenedal et *al.*, 1990 ; Thoni et *al.*, 1996 ; Ruhling et *al.*, 1998 ; Bargagli et *al.*, 1990 ; Gerdol et *al.*, 2000 ; Fernandez et *al.*, 2002. (Malandrino et *al.*, 2006).

Les mousses conviennent de surveiller et de cartographier les dépôts atmosphériques des contaminants en raison de leurs propriétés physicochimiques.

En effet, elles sont caractérisées par une distribution géographique étendue, car elles sont en mesure de survivre dans des conditions météorologiques sèches et dans les zones hautement polluées ; elles ont un rapport surface : volume grand, leur anatomie est simple et possèdent une cuticule, ce qui permet une interaction plus directe avec l'environnement extérieur par rapport aux plantes supérieures ; elles obtiennent leur approvisionnement élémentaire de l'atmosphère et conservent efficacement de nombreux éléments reçus des précipitations. Elles se développent habituellement toute l'année (plantes à feuilles persistantes) (Leblond, 2004 ; Chakraborty et Paratkar, 2006 ; Malandrino et *al.*, 2006).

Le but de ce travail consiste à évaluer les concentrations des éléments traces métalliques en l'occurrence le plomb, le zinc et le cuivre ; d'origine routière de la ville de Tiaret, d'une part, d'autre part est d'établir une carte de la pollution par ces éléments d'origine routière à l'aide des transplants d'une mousse « *Bryum argenteum*. Hedw. ».

Pour aboutir aux buts escomptés, Cette thèse est divisée en deux volets : un volet qui se rapporte à la recherche bibliographique et un autre concerne la partie expérimentale.

Le premier volet est divisé en trois chapitres : le premier chapitre traite la pollution atmosphérique liée aux trafics routiers, la biosurveillance et ces différents concepts seront décrits dans le deuxième chapitre, le troisième chapitre englobe des connaissances sur les bryophytes où elles seront succinctement présentées,

Tandis que le deuxième volet est divisé en trois chapitres, un chapitre sur des généralités sur la ville de Tiaret, un autre qui résume le protocole expérimental suivis lors de notre investigation et le dernier chapitre traite la partie résultats et discussion. Enfin, nous développerons une conclusion générale qui synthétisera les principaux résultats de notre travail.

PARTIE I :
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Pollution atmosphérique liée aux trafics routiers

Introduction

L'un des problèmes majeurs de cette fin de siècle est la préservation de la qualité de l'environnement. Le rejet de substances d'origine naturelle ou de synthèse constitue l'un des plus importants facteurs de dégradation de la biosphère par l'homme (Lagadic *et al.*, 1998).

Durant ces dernières décennies, la pollution atmosphérique, notamment la pollution urbaine est principalement d'origine automobile, a constamment évolué au cours des temps, résultant du désir frénétique de l'homme de surproduire pour mieux consommer et se traduisant par l'altération et la dégradation irréfléchie d'une partie de la planète (Marcheoiné, 1996 ; Khelil et Alioua, 2006).

Durant ces dernières décennies, la pollution de l'air en milieu urbain est principalement d'origine automobile. La combustion incomplète du carburant libère dans l'atmosphère des particules fines qui peuvent véhiculer des métaux lourds (Marcheoiné, 1996).

1.1. Définition de l'air

L'encyclopédie Encarta donne cette définition de l'air : fluide gazeux qui constitue l'atmosphère. L'air est indispensable à la vie car il participe au processus de la respiration et à la photosynthèse des végétaux.

L'air que nous respirons est indispensable à la vie, ce n'est pas un élément simple, mais un mélange de plusieurs gaz, dont les deux principaux sont l'oxygène et l'azote.

L'air est capital pour la vie et joue un rôle majeur dans la protection contre les rayonnements solaires néfastes (couche d'ozone) et dans la régulation climatique (effet de serre). Ces qualités sont affaiblies par les pollutions atmosphériques qui s'échappent des villes et des campagnes, voyagent, se transforment et touchent en final à la santé humaine, à l'environnement et aux grands équilibres de l'atmosphère (aspa, 2004)

L'air est principalement composé :

- D'azote (78% en volume).
- D'oxygène (21% en volume).

- 1% d'autres gaz, (argon, gaz carbonique, ozone, hydrogène, hélium...). Ce mélange gazeux, auquel il faut rajouter une fraction marginale de vapeur d'eau et de particules solides en suspension, définit la composition de l'atmosphère.

L'air est un mélange gazeux inodore et incolore sur une faible épaisseur. S'organisant en plusieurs couches superposées jusqu'à une altitude de plus de 500 km, l'atmosphère joue également un rôle de protection contre les agressions en bloquant les dangereuses particules énergétiques éjectées par le soleil, en freinant les météorites, ainsi qu'en absorbant les rayonnements ultraviolets nocifs.

De prime abord, il semble paradoxal de considérer l'air, source de vie, comme un danger. En fait, l'air sert de véhicule aux polluants, qui sont les véritables responsables à incriminer.

A l'origine de la pollution atmosphérique, s'il existe des sources naturelles comme les éruptions volcaniques, l'érosion des sols ou les feux de forêt, la plupart des polluants menaçants sont liés à l'homme, à son mode de vie et à ses activités (Germain, 2006).

1.2. Définition de la pollution atmosphérique

Dans le code de l'environnement français, la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996, définit la pollution de l'air comme « *L'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives excessives* » (Laure, 1996 in Hoenner, 2006) .

D'après Ramade (2007) ; une définition plus pertinente de la pollution, peut s'énoncer de la façon suivante : « *Constitue, une pollution, toute modification anthropogénique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction de substance chimiques artificielles ; toute perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation naturelle provoquée par l'introduction d'espèces exotiques invasives* ».

Il y a pollution atmosphérique, selon Le Conseil de l'Europe: « *lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est*

susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer ou une nuisance ou une gêne. » (Anonyme, 1997)

L'organisation mondiale de la santé OMS, (2000) in Nérome, (2005), définit la pollution atmosphérique par : « *la présence de substances contaminants ou polluants dans l'air à une concentration qui affecte la santé humaine ou son bien-être, ou qui produit d'autres agréments* ».

En Algérie, la pollution atmosphérique est définie, dans l'article 3 de la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : « *Pollution de l'Atmosphère : l'introduction de toute substance dans l'air ou dans l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptibles de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie, à la santé ou à la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et des monuments ou au caractère des sites* ».

Toutefois Ramade (1982), souligne que "*la pollution de la biosphère par la civilisation technologique ne porte pas seulement atteinte à la pérennité des espèces animales ou végétales qui la peuplent, elle compromet aussi l'avenir de l'humanité en dilapidant des ressources naturelles irremplaçables en particulier celles qui conditionnent la productivité agricole des divers écosystèmes continentaux*".

Aujourd'hui dans les villes, la pollution d'origine industrielle a cédée la place à la pollution liée aux transports, qui engendrent une pollution atmosphérique par les différents rejets dans l'air, à savoir : les particules totales en suspension (TSP), en particulier les métaux lourds contenus dans ces derniers (Sbargoud et Brahim, 2011).

1.3. Echelle de pollution de l'air

On distingue trois types de pollutions : planétaire, régionale et locale. La pollution locale est principalement incriminée car elle a un impact sur l'homme et sur sa santé à plus ou moins long terme, en raison notamment de sa proportion à favoriser de nombreuses maladies (Germain, 2006).

a. Au niveau planétaire

La dégradation de la couche d'ozone à très haute altitude (stratosphère), observée depuis quelques années, diminue la protection contre les rayons solaires nocifs et augmente la fréquence d'apparition des mélanomes et autres cancers de la peau. Par ailleurs, l'accroissement de l'effet de serre, dû à l'accumulation de certains gaz (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote...), est responsable du réchauffement climatique (Germain, 2006).

b. Au niveau régional

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...) est à l'origine des pluies acides qui entraînent le dépérissement des forêts et la dégradation des sols. La pollution régionale peut être constatée jusqu'à plus de mille kilomètres autour de sa source (Germain, 2006).

c. Au niveau local

La pollution urbaine agit sur quelques kilomètres. Son impact sur la santé dépend de la durée d'exposition, de l'état général et de l'âge des personnes concernées. L'étude de l'impact sanitaire de cette pollution est ainsi confrontée à l'évaluation de risques individuels faibles mais portant sur de larges populations (Germain, 2006).

1.4. Emissions, transformation et dépôts de polluants

La pollution atmosphérique ne connaît pas de frontières (Fig. 01) ; Les émissions polluantes sont transportées à des distances variables par les mouvements des masses d'air et les nuages. Pendant leur transport, les substances polluantes sont transformées, l'atmosphère fonctionnant comme une véritable usine chimique.

La dispersion des polluants dans l'air résulte de nombreux facteurs. Cependant, la qualité de la dispersion influe directement sur la qualité de l'air : Si la dispersion est bonne, les concentrations peuvent rester faibles malgré des rejets importants. (Roul, 1998 ; Durrieu, 1999).

A contrario, si la dispersion se fait mal, des émissions relativement limitées peuvent suffire à dégrader la qualité de l'air.

Cependant la capacité dispersive d'un site est loin de s'expliquer par l'action d'un seul facteur; ils sont nombreux à jouer un rôle.

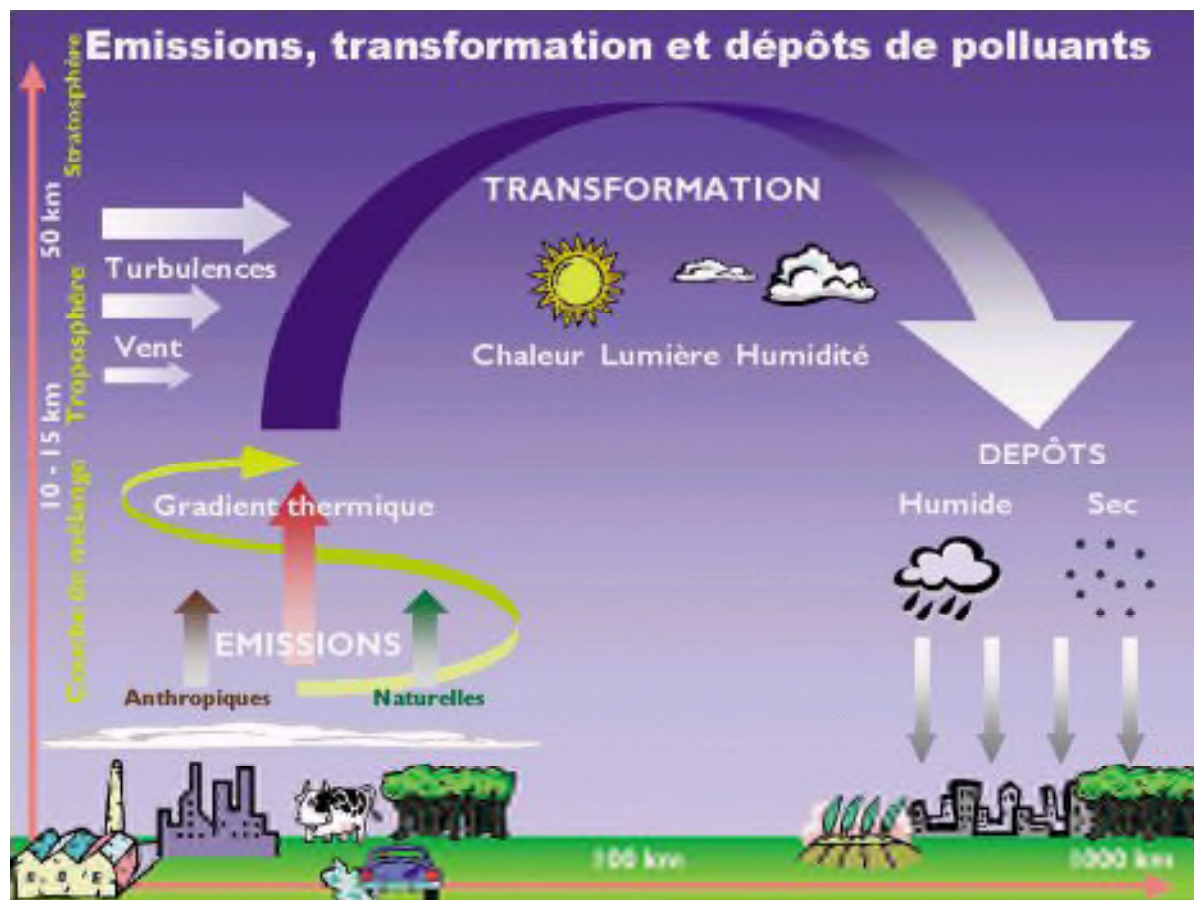


Figure 01 : Cycle de la pollution atmosphérique (Baazaoui, 2009)

❖ Transformations chimiques

a. Les polluants primaires

Les polluants primaires sont directement issus des sources de pollution, qu'elles soient d'origine industrielle ou automobile. On y trouve des gaz tels que : des oxydes de carbone (CO) ; des oxydes de soufre (SO₂) ; des oxydes d'azote (NO_x) ; des hydrocarbures légers ; des composés organiques volatils (COV) ; des particules contenant ou non des composés métalliques (plomb, mercure cadmium...) ou organiques (PM10 et PM 2.5).

b. Les polluants secondaires

Ces polluants primaires peuvent se transformer dans la basse atmosphère, sous l'action des rayons solaires et de la chaleur, en polluants dits secondaires tels que l'ozone et autres

polluants photochimiques. Ces composés constituent le smog photochimique, donnant naissance à ce nuage brunâtre qui stagne parfois au-dessus des grandes villes. Par exemple, l'ozone (O_3) résulte de la transformation chimique de l'oxygène au contact d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures, en présence de rayonnement ultra-violet solaire et d'une température élevée (Germain, 2006).

La formation de polluants secondaires nécessite un certain temps durant lequel les masses d'air se déplacent. Ce qui explique pourquoi les pointes de polluants secondaires concernent des territoires souvent plus étendus que les pointes de polluants primaires (Fig. N°02) (Stéphanie, 2005 ; Germain, 2006).

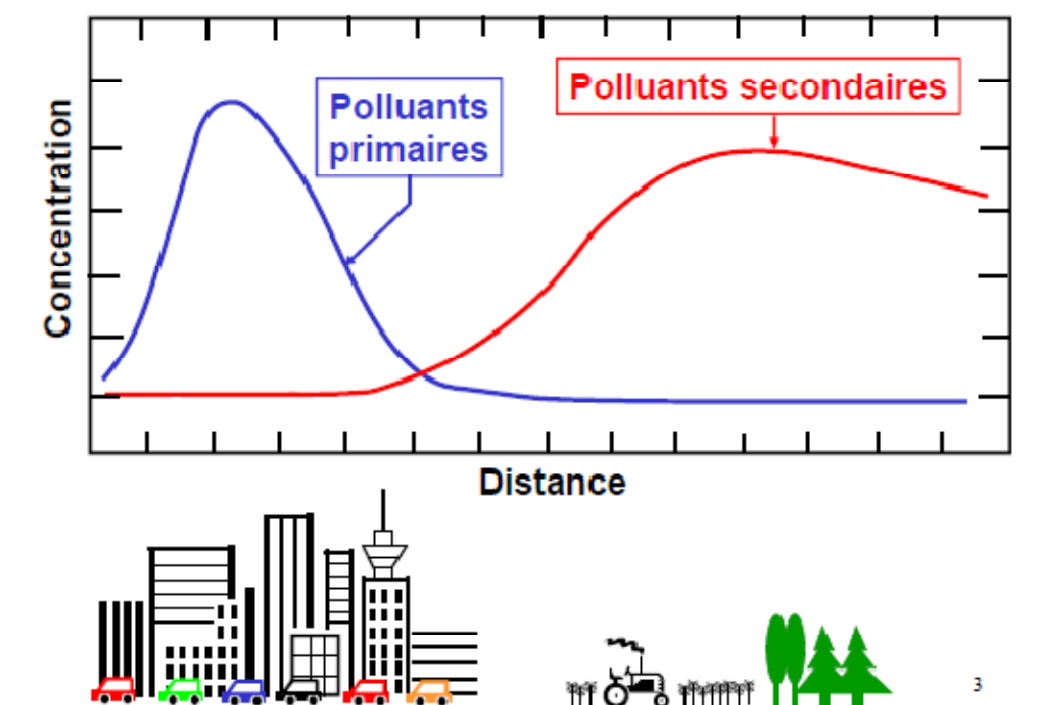


Figure 02: Etendue des concentrations de polluants secondaires (Aumont, 2013)

1.5. Facteurs météorologiques influent la dispersion des polluants

Les facteurs météorologiques influencent directement le transfert et la dilution des polluants dans l'atmosphère. Ce rôle peut être positif ou négatif sur la pollution selon l'état de turbulence de l'air et la configuration géométrique des espaces considérés.

1.5.1. La pression atmosphérique

Une basse pression atmosphérique indique une situation dépressionnaire et donc une turbulence de l'air assez forte, ce qui favorise la dispersion des substances polluantes et par conséquent, améliore la qualité de l'air. En revanche, des situations anticycloniques (hautes pressions) où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution. (PRQA, 2007).

1.5.2. Le vent

Selon Roul (1998) ; Durrieu (1999) et Anthony (2003), le vent est un déplacement de l'air et est donc un facteur de transport des polluants. Il possède une vitesse exprimée en m/s (ou km/h ou nœud) et une direction exprimée en fonction de la rose des vents. A l'échelle urbaine, l'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Généralement la vitesse du vent augmente avec l'altitude. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, la dispersion horizontale est facilitée par le vent. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution en ville seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants.

1.5.3. La température

La température accélère considérablement les réactions entre les différents polluants. La température agit dans la formation de polluants secondaires tels que l'ozone en temps chaud d'été et un fort ensoleillement, par contre en temps stable d'hiver avec la formation d'une couche d'inversion, elle entraîne la stagnation des polluants. 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 inversion thermique, le sol s'est refroidi de façon importante pendant la nuit (rayonnement terrestre nocturne notamment). La température à quelques centaines de mètres 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 (Estienne et Godard, 1993).

1.5.4. L'humidité

Un des principaux rôles de l'humidité est le « captage » des particules polluantes par les gouttelettes d'eau en suspension. En retenant les polluants, elle accroît leur stagnation et peut finir par concentrer ces substances (Deltras et Paul, 1998 ; Dambrine et *al.*, 2001).

1.5.5. Les précipitations

D'après PRQA (2007), les précipitations sont à mettre en relation avec une atmosphère instable, ce qui permet une bonne dispersion des polluants. De plus, elles peuvent entraîner les polluants les plus lourds au sol et favoriser la dissolution de certains polluants. De façon générale, la pluie améliore la qualité de l'air en particulier pour les poussières et les éléments solubles comme le dioxyde de soufre par exemple (SO₂).

1.5.6. La turbulence atmosphérique

La turbulence atmosphérique est un phénomène ayant deux origines distinctes (thermique et mécanique) qui consiste en une irrégularité dans les mouvements du vent et provoque la dispersion des polluants dans l'air (CERTU-CERT, 2010).

1.5.7. La nébulosité

Selon Deletraz et Paul (1998), la nébulosité est responsable de la formation d'un « couvercle » au-dessus d'une zone polluée. Elle réduit également l'apport radiatif du soleil, ce qui tend à diminuer les transformations physico-chimiques des polluants primaires.

1.5.8. La topographie

Les effets de la topographie sont essentiels dans les mécanismes de dispersion des polluants. La stabilité atmosphérique combinée à une topographie complexe empêche la circulation de l'air et donc l'évacuation des polluants (Deltras et Paul, 1998).

1.6. Dépôt des polluants

Les phénomènes de retombées de la pollution atmosphérique (Fig. 03) sont improprement appelés « pluies acides ». Le terme est effectivement peu approprié car la réalité des dépôts de polluants atmosphériques est plus variée et sont loin d'avoir lieu uniquement sous forme humide.

On préférera donc les termes de dépôt, déposition, retombée de polluants ou retombées atmosphérique ; termes qui correspondent mieux aux divers modes de transfert des polluants primaires ou secondaires de l'air, sous forme solide, liquide ou gazeuse vers le sol.

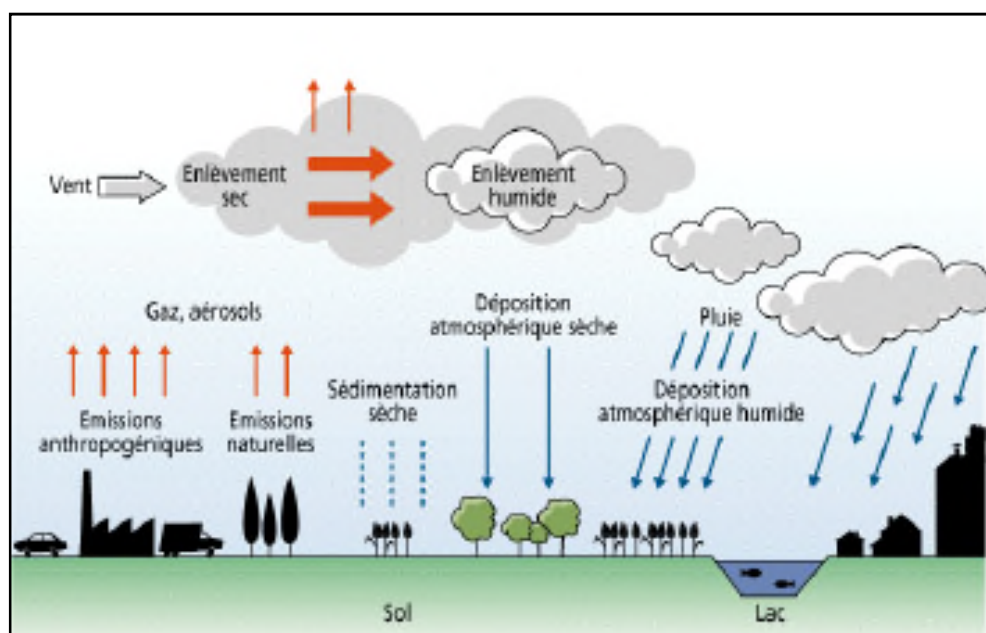


Figure 03: Processus de transfert des polluants atmosphériques (CITEPA, 2001).

1.7. Les principaux polluants de l'atmosphère

- **NO_x (Oxydes d'azote)**

Les émissions d'oxydes d'azote (monoxyde d'azote plus dioxyde d'azote) apparaissent dans toutes les combustions, à haute température, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole...). Le monoxyde d'azote (NO) n'est pas toxique pour l'homme aux concentrations auxquelles on le rencontre dans l'environnement mais le dioxyde d'azote (NO₂) est un gaz irritant pour les bronches.

Le secteur du trafic routier est responsable de plus de la moitié des émissions de NO_x (les moteurs diesel en rejettent deux fois plus que les moteurs à essence catalysés) et le chauffage de 20%.

Le dioxyde d'azote provient quant à lui de l'oxydation du monoxyde d'azote rejeté dans l'atmosphère par l'ozone. Mais une partie du dioxyde d'azote est également émise telle quelle dans l'atmosphère (Airparif, 2010).

- **Particules en suspension (PM)**

Les microparticules, de la taille du micromètre (μm , un million de fois plus petit qu'un mètre) ne sont pas visibles à l'œil nu. On distingue (Airparif, 2010):

Les *particules PM10*, de taille inférieure à $10 \mu\text{m}$ (6 à 8 fois plus petites que l'épaisseur d'un cheveu ou de la taille d'une cellule) et qui pénètrent dans l'appareil respiratoire.

Les *particules fines ou PM2,5*, inférieures ou égales à $2,5 \mu\text{m}$ (comme les bactéries) et qui peuvent se loger dans les ramifications les plus profondes des voies respiratoires (alvéoles).

Ces particules ont des effets sur la santé, principalement au niveau cardiovasculaire et respiratoire. Elles ont trois origines :

- Le trafic routier
- Les remises en suspension des particules qui s'étaient déposées au sol sous l'action du vent ou par les véhicules le long des rues
- La transformation chimique de gaz. Par exemple, dans certaines conditions, le dioxyde d'azote pourra se transformer en particules de nitrates et le dioxyde de soufre en sulfates

- **Ozone (O_3)**

A très haute altitude, dans la haute atmosphère, l'ozone protège les organismes vivants en absorbant une partie des rayons UV. Mais à basse altitude, là où nous vivons et respirons, c'est un polluant qui irrite les yeux et l'appareil respiratoire, et qui a des effets sur la végétation. Ce polluant n'est pas directement émis dans l'atmosphère mais se forme par réaction chimique à partir d'autres polluants, en particulier les oxydes d'azote et des hydrocarbures, sous l'action des rayons UV du soleil (Airparif, 2010).

- **Dioxyde de soufre (SO_2)**

Les émissions de dioxyde de soufre dépendent de la teneur en soufre des combustibles (gazole, fuel, charbon...). Ce gaz irrite les muqueuses de la peau et des voies respiratoires supérieures.

A plus de 50% il est rejeté dans l'atmosphère par les activités industrielles, dont celles liées à

la production d'énergie comme les centrales thermiques. Mais il est également émis par le chauffage résidentiel, commercial ou des entreprises (Airparif, 2010).

- **Composés Organiques Volatils (COV)**

Les composés organiques volatils sont libérés lors de l'évaporation des carburants, par exemple lors du remplissage des réservoirs, ou par les gaz d'échappement. Ils provoquent des irritations et une diminution de la capacité respiratoire, et certains composés sont considérés comme cancérigènes comme le benzo(a)pyrène.

Plusieurs familles de polluants font partie des COV :

Les BTEX (benzène, toluène, éthyl benzène, m+p xylène et ortho xylène), autrement appelés HAM (Hydrocarbures aromatiques monocycliques)

Les HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques), notamment le benzo(a)pyrène.

Les aldéhydes, dont le formaldéhyde, polluant principalement relevé en air intérieur.

Les COV sont émis par le trafic automobile, par les processus industriels, par le secteur résidentiel, par l'usage domestique de solvants, mais également par la végétation (Airparif, 2010).

- **Monoxyde de carbone (CO)**

Les émissions de monoxyde de carbone sont liées à des combustions incomplètes (gaz, charbon, fioul ou bois), elles proviennent majoritairement des gaz d'échappement des véhicules. A fortes teneurs, le monoxyde de carbone peut provoquer des intoxications (Airparif, 2010).

1.8. Généralités sur les métaux lourds

Les métaux lourds, composés stables et hautement persistants, sont des contaminants de l'environnement; qui peuvent être accumulés et transférés aux organismes supérieurs des réseaux trophiques entraînant de sérieux problèmes écologiques et de santé publique (DeForest et *al.*, 2007, Croteau et *al.*, 2005).

1.8.1. Définition

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano, 2001 ; Huynh, 2009) (Tableau 01).

Tableau 01 : Tableau périodique des éléments (Fourest, 1993 *in* Laatra et Chenini, 2013)

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

D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques (Anne et Isabelle, 2005 ; Huynh, 2009) :

* Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe).

* Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd).

Le terme métaux lourds, implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement (Baker et Walker, 1989). Dans ce contexte, nous utiliserons le terme « métaux lourds » dans le sens de l'impact toxique sur les humains et les environnements (Huynh, 2009).

Les métaux lourds peuvent provenir de certains procédés industriels spécifiques dont ceux utilisant la combustion de charbon, de pétrole ou d'ordures ménagères. Ils se retrouvent généralement dans les particules et poussières sédimentables ou en suspension dans l'air, à l'exception du mercure qui est principalement gazeux. Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans l'organisme où ils provoquent, à partir de certaines concentrations, des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires (Rapport scal- air, 2010)

1.8.2. Les différentes sources des métaux lourds

1.8.2.1. Les sources d'origine naturelles

Les réserves les plus importantes en métaux lourds se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques, ils sont introduits dans la biosphère via, les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion et l'infiltration... (Miquel, 2001).

1.8.2.2. Les sources d'origine anthropiques

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'homme, cette contamination a plusieurs origines, telles que les gaz d'échappements des véhicules, la combustion des fossiles, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture, les déchets liquides et solides (Miquel, 2001).

➤ Les rejets physiques

Concernant essentiellement le plomb et, dans la moindre mesure le cadmium, sont dus à deux phénomènes : D'une part, l'activité métallurgique et minière, d'autre part, les rejets qui sont liés au sort des produits en fin de vie, chargés en plomb, c'est le cas des batteries

d'automobiles. Les rejets de mercure liquide sont beaucoup moins importants. Le mercure se retrouve toutefois dans les canalisations en sortie de site d'utilisations (hôpitaux, cabinets dentaires, ...etc.) (Miquel, 2001)

➤ **Les rejets atmosphériques**

Les métaux représentant des masses importantes dans l'atmosphère, qui se chiffrent par dizaines de tonnes (mercure, arsenic et cadmium), par centaines (Crome) ou par milliers de tonnes (le plomb). Après ratifications du protocole d'Aarhus sur les métaux lourds en 1998 par certains nombre de pays, les émissions atmosphériques des métaux ont diminué de 50% passant de 7356 tonnes à 3336 tonnes, dont près de la moitié pour le Zinc, et un peu plus du tiers pour les autres métaux considérés (Pierre, 2000 ; Miquel, 2001).

1.8.3. Toxicité des métaux lourds

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. La plupart du temps, leurs effets toxiques concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes. Donc la nécessité d'éliminer ou de récupérer ces métaux lourds polluants pour l'environnement n'est plus à discuter (Monnet-Tschudi et *al.*, 2006) in ait khaldoun

1.8.4. Quelques métaux lourds et leurs caractéristiques

➤ **L'arsenic**

*** Propriétés physico-chimie**

L'arsenic est principalement présent sous forme de particules composées majoritairement d'oxydes (As_2O_3 , As_2O_5), de sulfures (As_2S_3 , As_2S_5) et de certains composés organiques, comme le mono-méthylarsine (CH_3AsH_2) et le di-méthylarsine ($(CH_3)_2AsH$). Il existe aussi des formes volatiles, telles que l'arsine gazeuse (AsH_3), l'anhydride arsénieux (As_2O_3) ou des espèces organiques méthylées (CITEPA, 2011).

*** Sources**

Les rejets d'arsenic sont imputables à la présence de traces de ce métal dans les combustibles minéraux solides, dans les fiouls lourds et également dans certaines matières premières utilisées dans des procédés comme la production de verre, de métaux non ferreux ou la métallurgie des ferreux (CITEPA, 2011).

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Les différentes formes particulières de l'arsenic dans l'air ambiant peuvent se déposer dans l'appareil respiratoire, passer dans le sang et avoir une action sur de multiples organes. Classé comme cancérigène de groupe 1 par le CIRC l'arsenic est susceptible de favoriser les cancers du poumon et de la peau (CITEPA, 2011).

➤ Le cadmium*** Propriétés physico-chimie**

Le cadmium se trouve essentiellement sous forme particulière dans l'air ambiant, la forme la plus courante étant l'oxyde de cadmium (CITEPA, 2011).

*** Sources**

Les principales sources de cadmium sont l'incinération des déchets ménagers, la sidérurgie et la métallurgie des non ferreux (production de zinc notamment). Des progrès importants ont été obtenus en ce qui concerne les émissions de métaux lourds par les installations d'incinération d'ordures ménagères. Dans une moindre mesure, on note également des émissions par les secteurs résidentiel et tertiaire. La combustion à partir des combustibles minéraux solides, du fioul lourd et de la biomasse engendre une part significative des émissions (CITEPA, 2011).

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Le cadmium est un toxique cumulatif, c'est-à-dire que ses effets toxiques sur l'organisme ne s'expriment que lorsque l'accumulation dans les tissus atteint un seuil. Il cause des troubles hépato-digestifs, rénaux, sanguins, nerveux et osseux. Les formes particulières du cadmium sont classées comme cancérigènes de groupe 1 par le CIRC (CITEPA, 2011).

➤ Le plomb*** Propriétés physico-chimie**

Le plomb est essentiellement émis sous la forme de chlorure, de bromure ou d'oxydes de plomb (CITEPA, 2011).

*** Sources**

Les sources de plomb dans l'air ambiant sont l'industrie de la fusion de ce matériau, la fabrication de batteries électriques, la fabrication de certains verres (cristal). En métropole, avant l'interdiction du plomb dans les essences en 2000, la principale source était encore le parc de véhicules à essence (810 tonnes par an en 1998). Le plomb dans l'essence était utilisé comme antidétonant, et se retrouvait dans les gaz d'échappement. C'est l'arrêté n°2009-4401/GNC du 29 septembre 2009 relatif aux caractéristiques de l'essence importée pour la vente au détail en Nouvelle-Calédonie qui fixe la teneur maximale de plomb à 5 mg/l (CITEPA, 2011).

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Le plomb provoque à forte dose des effets neurologiques aigus, causant à moyen terme le saturnisme.

➤ Le nickel*** Propriétés physico-chimie**

Le nickel peut se trouver sous des formes particulières et volatiles, comme le nickel carbonyle ($\text{Ni}(\text{Co})_4$) (CITEPA, 2011).

*** Sources**

De manière générale, les émissions de nickel proviennent de la présence de traces de ce métal dans le fioul lourd. En outre, l'exploitation des minerais nickélifères sur mine et sur site industriel de valorisation laisse penser que ce métal puisse se retrouver dans l'air ambiant sous la forme de poussières sédimentables ou en suspension (CITEPA, 2011).

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Le nickel de type métal est connu pour ses effets allergènes cutanés, notamment à l'occasion de contact avec des objets usuels (bijoux ou pièces de monnaie...). Dans l'air ambiant, le nickel provoque des pathologies de type irritation et inflammation des voies respiratoires. Le nickel métallique a été classé par le CIRC comme cancérigène possible pour l'homme.

1.8.5. Contamination de l'environnement par les métaux lourds

*** Contamination de l'air**

Les principales sources de métaux lourds dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux, des véhicules... etc. Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont en fonction de leur taille, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules. Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre... etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines (Fontan, 2003).

*** Contamination des sols**

Les métaux peuvent être, soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes, elles n'ont aucune influence sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe sur l'environnement. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (Bliefert et Perraud, 2004).

*** Contamination de l'eau**

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

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes : les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation... (Marcheoine, 1996).

1.8.6. Impact des éléments traces métalliques sur la santé humaine

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, à titre d'exemple l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure. Ils ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante (Pierre, 2000).

Les organes cibles des métaux lourds sont multiples: les ions métalliques se fixent sur les globules rouges (Pb, Cd, CH₃Hg). Les métaux s'accumulent dans le foie et les reins (organes très vascularisés), les dents et les os accumulent le plomb. D'autre part, les métaux solubles dans les lipides comme le plomb, tétra-éthyle ou le méthyl-mercure peuvent pénétrer dans le système nerveux central. Le danger est encore plus grand pour les enfants car chez eux la barrière hémato-encéphalique n'est pas entièrement développée (intoxication au plomb possible). Par diffusion passive et grâce à leur solubilité dans les lipides, le cadmium, le plomb, le nickel, le méthyl-mercure (CH₃Hg), traversent le placenta et peuvent s'y concentrer (Pierre, 2000).

1.8.7. Législation et normes de rejet

Au début, la législation s'est intéressée aux polluants majeurs, tels que le dioxyde de soufre (SO₂), l'oxyde d'azote (NO) et les poussières. Des nouvelles réglementations se sont penchées sur le problème des métaux lourds, ceci s'explique par le fait que leurs effets sur l'homme et l'environnement ne cessent d'être mis en lumière, voir éprouvés pour certains.

En effet plusieurs conventions, lois, décrets nationaux et internationaux réglementent cette pollution.

1.8.7.1. Législation Algérienne

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

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

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

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

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

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

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

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

a) Objectif de qualité ou valeur cible : **50** mg/m³.

b) Valeur limite : **80** mg/m³.

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

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

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

1.8.7.2. Législation Internationale

La convention de Genève en 1979 sur la pollution atmosphérique à longue distance a plafonné les émissions de soufre (868 KT en 2000, 770 KT en 2005 et 737 KT en 2010) et a préconisé une réduction des composés organiques volatils non métalliques de 30% (de 1988 à 1999) et une baisse des oxydes d'azote de 30% (de 1980 à 1999) (Bliefert et Perraud, 2004).

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

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

Tableau 02 : Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la Directive Européenne (Le Bouffant, 1988).

Métal	Valeur guide OMS	Directive européenne
Cr	-	6ng/m ³
Cd	5ng/m ³	5ng/m ³
Mn	-	-
Ni	20ng/m ³	20ng/m ³
Pb	500ng/m ³	900ng/m ³
Hg	-	50ng/m ³

1.9. Pollution atmosphérique liée aux trafics routiers

Le secteur des transports, en particulier les transports routiers, pèse fortement dans le bilan global des émissions des substances impliquées dans la pollution atmosphérique. Les émissions de polluants des transports sont d'autant plus nocives pour la santé que les rejets se produisent surtout en milieu urbain, à proximité des populations.

Les substances émises par le trafic routier sont très nombreuses et forment un panache de polluants dans l'air à proximité des axes routiers. Les polluants liés au trafic routier peuvent être classés en deux catégories : les gaz d'échappement et les particules. Les polluants émis directement sont appelés polluants primaires. Parmi ces polluants primaires, certains sont précurseurs de polluants dits secondaires ou photochimiques formés par réactions chimiques dans l'atmosphère.

Les principaux polluants traceurs du trafic routier sont les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de carbone (CO et CO₂), les composés organiques volatils (COV), les particules, les métaux lourds et l'ozone.

Différents types de pollution peuvent être à l'origine de nuisances en milieu routier : la pollution temporaire, chronique, saisonnière ou bien accidentelle.

❖ **La pollution temporaire**

La pollution temporaire est liée aux travaux de construction de la route (poussières rejets d'huile d'engins...). Cette pollution ne sera pas considérée du fait de son caractère ponctuel et antérieur à la mise en service de la route (Setra et Mazoue, 1994).

❖ **La pollution chronique**

La pollution chronique a un lien direct avec l'utilisation de la route. L'abrasion et la corrosion des matériaux constitutifs des véhicules (pneumatiques, freins, carrosserie), la combustion du carburant, les fuites de divers liquides (huile moteur, antigel), l'usure de la chaussée et la corrosion des glissières de sécurité participent à cette pollution (Setra et Mazoue, 1994).

❖ **La pollution saisonnière**

La pollution saisonnière est liée à la maintenance des infrastructures routières (entretien hivernal, désherbage des bas-côtés). Ces opérations sont nécessaires au maintien de bonnes conditions de circulation et nécessitent l'emploi de produits qui peuvent présenter des risques pour l'environnement (sels et herbicides). Il est intéressant de considérer la pollution hivernale car les sels peuvent apporter de petites quantités de métaux, augmenter la corrosion des surfaces métalliques (véhicules et glissières). Ils interagissent directement avec les polluants (Setra et Mazoue, 1994).

❖ **La pollution accidentelle**

La pollution accidentelle est consécutive à un accident de la circulation au cours duquel des matières dangereuses sont déversées avec des conséquences plus ou moins graves selon la quantité et la nature du produit mis en jeu et la sensibilité du milieu récepteur. Du fait du caractère aléatoire et peu probable de ce type de pollution, il est apparu difficile de la prendre en compte ce type de pollution (Setra et Mazoue, 1994).

1.9.1. Etat générale du secteur transport routier en Algérie

La qualité de l'air en milieu urbain continue d'être affectée majoritairement par le trafic automobile en Algérie. Effectivement, l'office national des statistiques (ONS, 2015) a évalué, jusqu'au 31/12/2013, le parc automobiles de toute l'Algérie à 5.123.705 tous types confondus, sur ce total les véhicules moins de 10 ans ne représentent que 34% contre 56,66% qui sont âgés de 20 ans et plus. Les véhicules de tourisme représentent 3.268.220 véhicules (soit 63,79 % du parc automobile national), dont 80,66 % sont des véhicules à essence et 19,34 % sont des véhicules à gazoil.

Durant le premier semestre de 2014, selon l'ONS (2015), l'Algérie à enregistrée 697.752 véhicules (Fig. 04), dont on compte 489.100 véhicules de tourisme.

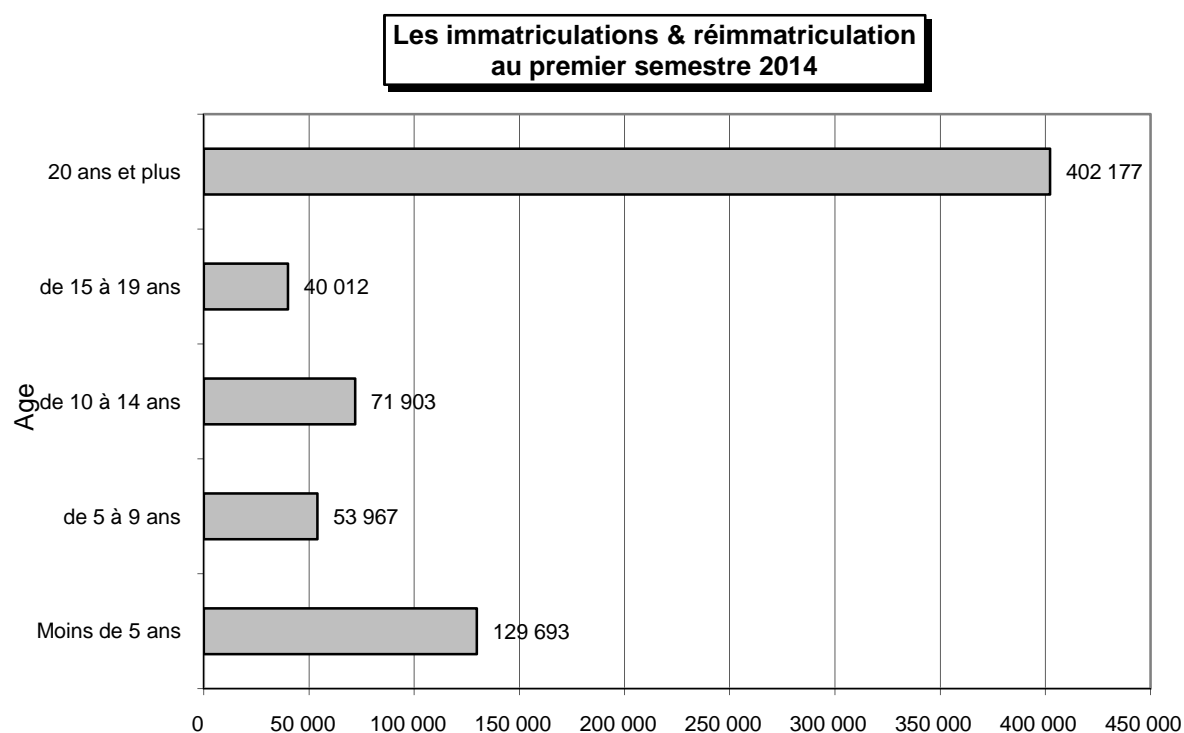


Figure 04: Les immatriculations et réimmatriculation au premier semestre 2014 (ONS, 2015)

La continuation de l'ouverture du marché automobile qui a permis l'installation en Algérie de nombreux concessionnaires de véhicules s'est traduite par un accroissement du parc, en effet en 2004 nous enregistrons 2,13 % alors qu'en 2013 nous consignons 20,36 % de véhicules tout type confondus.

Le tableau suivant présente l'évolution du parc national d'avant 1997 à 2014 (ONS, 2015).

Tableau 03 : Répartition des immatriculations et reimmatriculations du premier semestre 2014 selon le genre et l'année de mise en circulation

Année de Mise en Circulation	Véhicule Tourisme	Camion	Camionnette	Autocar/Autobus	Tracteur routier	Tracteur Agricole	Véhicule Spécial	Remorque	Moto	TOTAL	%
Avant 1997	67 351	11 778	23 484	936	3 091	2 873	271	2 857	496	113 137	16,21
1997	4 286	71	1 985	135	18	26	2	26	13	6 562	0,94
1998	7 092	85	1 807	260	35	48	6	28	17	9 378	1,34
1999	9 752	136	1 864	620	23	41	1	29	20	12 486	1,79
2000	10 225	576	2 364	728	198	191	170	346	126	14 924	2,14
2001	11 546	380	1 479	351	187	150	187	265	261	14 806	2,12
2002	11 765	504	1 355	359	250	174	115	166	113	14 801	2,12
2003	8 952	397	1 250	482	307	262	314	353	197	12 514	1,79
2004	11 465	619	1 852	448	154	112	22	166	20	14 858	2,13
2005	11 223	811	2 911	561	245	115	8	209	23	16 106	2,31
2006	13 422	655	2 947	316	244	40	4	152	13	17 793	2,55
2007	18 120	820	3 898	400	306	42	7	174	15	23 782	3,41
2008	25 676	1 510	4 875	524	389	61	14	300	33	33 382	4,78
2009	21 972	2 073	4 584	394	407	104	16	283	40	29 873	4,28
2010	20 996	949	4 709	401	254	121	35	259	82	27 806	3,99
2011	24 611	797	6 621	422	313	213	49	323	195	33 544	4,81
2012	40 449	1 268	11 523	393	336	482	94	499	471	55 515	7,96
2013	92 893	3 889	37 504	895	1 060	2 637	241	2 239	706	142 064	20,36
2014	77 304	2 536	18 878	997	926	1 302	103	1 420	955	104 421	14,97
TOTAL	253 843	21 364	61 364	6 915	6 108	4 360	1 172	5 613	1 469	697 752	100

1.9.2. Différents type des carburants

Un carburant est un combustible qui alimente un moteur thermique. Celui-ci transforme l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique. Les carburants sont principalement constitués d'hydrocarbures (éléments H et C), de composés minéraux (soufre), des métaux (plomb, cuivre). La composition chimique de ces carburants influence grandement leurs propriétés physiques (courbe de distillation, viscosité, densité..) et leurs caractéristiques énergétiques (pouvoir calorifique, indice d'octane ou de cétane, vitesse de flamme).

L'effet de la composition des carburants sur les émissions polluantes peut se mesurer à deux niveaux : le rejet à l'échappement et les pertes par évaporation (au moment du remplissage du réservoir ou à l'arrêt à la saison chaude) (Frederick, 2008).

➤ L'essence

Les essences sont des mélanges complexes de nombreuses substances: antidétonants, antioxydants, inhibiteurs de corrosion, additifs antirouille, agents antigivre, correcteurs de cognement, colorants et lubrifiants pour haut de cylindres. Les essences sur le marché

renferment surtout des alcanes C5 à C8 (de 60 à 80 pour cent) et des teneurs moindres de composés aromatiques (de 14 à 33 pour cent) et d'oléfinés (de 6,4 à 13 pour cent).

La composition de l'essence étant assez variable, Certains de ses composants le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes, le plomb et le dichloroéthane (ADEM, 2001).

➤ **Le diesel**

Les gaz d'échappement des moteurs diesel représentent un mélange complexe de particules, de vapeurs et de gaz. La fraction gazeuse des émissions contient du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de soufre (SO₂) et des composés organiques volatils (COV). Parmi les COV présents, on retrouve des hydrocarbures non méthaniques, des composés carbonylés comme les aldéhydes ainsi que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). La fraction particulaire des émissions diesel comprend quant à elle des matières carbonées, habituellement constituées de 75 % de carbone élémentaire (suie) et de 20 % de carbone organique. La proportion des substances présentes varie toutefois grandement selon le type de moteur et le système d'échappement (Sylvain, 2005).

➤ **Gaz Naturel Véhicules (GNV)**

Le gaz naturel véhicules (GNV) est composé de méthane (CH₄), à plus de 80% (pourcentage variable selon l'origine du gaz). Compte tenu de sa composition simple, il présente l'avantage de pouvoir être utilisé comme carburant sur un moteur à allumage commandé. Naturellement incolore et inodore (une odeur lui est rajoutée par ajout chimique), Le GVN est stocké à l'état gazeux (ADEM, 2001).

➤ **Le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL)**

Le gaz de pétrole liquéfié est principalement composé d'un mélange de propane (C₃H₈) et de butane (C₄H₁₀). Il s'agit d'un produit provenant à 50% de l'extraction et du raffinage du pétrole et à 50% des champs de gaz naturel.

Compte tenu des caractéristiques du carburant et de sa composition simple, formée essentiellement de butane et propane, la combustion conduit à priori à des produits plus simples à traiter. Les principaux résultats sur une motorisation fonctionnant correctement sont:

- de faibles rejets de particules toxiques (poussières apparaissant sous la forme de fumées

noires);

- des rejets infimes de composés aromatiques (qui sont généralement dangereux et quelque fois cancérogènes);
- des rejets CO, HC, NO_x qui peuvent être traités efficacement par la catalyse 3 voies.

Ces avantages ont permis à cette filière de prendre place sur le marché des bus urbains, compte tenu des volontés de réduire les émissions polluantes Réduction par rapport à un moteur essence ou diesel de:- 30à 65% de NO_x et de HC (Guibet, 2004).

1.9.3. La pollution d'origine routière

La liste des polluants atmosphériques d'origine automobile est longue : parmi les polluants présents à l'état de gaz, on trouve les oxydes de carbones (CO et CO₂), les oxydes d'azote (NO et NO₂) regroupés sous l'appellation NO_x, les Composés Organiques Volatils (COV), parmi lesquels les hydrocarbures (HC), le dioxyde de soufre (SO₂) et les métaux lourds, pour ne citer que les plus « communs ». L'ozone troposphérique est un cas à part puisqu'il n'est pas directement issu des véhicules, mais est créé essentiellement à partir de NO_x et des COV sous l'influence du rayonnement solaire et les métaux lourds (Deletraz, 2002; Desboeufs, 2001).

1.9.4. Les métaux lourds

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier sont de deux sortes, les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'abrasion et la corrosion des matériaux solides du véhicule et en partie à l'utilisation de différents fluides. Les principaux matériaux solides considérés sont les pneumatiques, les garnitures de freins et la carrosserie.

L'utilisation de divers fluides comme le carburant, les graisses de lubrification ou l'huile de moteur, contribue également aux émissions polluantes des véhicules (tableau 04).

Tableau 04: Teneurs en métaux traces de divers fluides (Shaheen, 1975).

Type de fluide	Plomb	Zinc	Cuivre
Huile moteur (g/g)	9	1060	3
Graisse lubrification (g/g)	0	164	0
Antigel (g/g)	6	14	76
Fluide pour les freins (g/g)	7	15	5
Fluide de transmission (g/g)	8	244	0
Essence (mg/L)	501	7,5	3
Gazole (mg/L)	9,1	9,1	6

Les émissions chroniques de polluants liées aux infrastructures routières sont issues de l'abrasion des chaussées et de la corrosion des glissières de sécurité. Les glissières de sécurité relarguent d'importantes quantités de zinc comme l'ont montré les études de (Baladés et *al.*, 1984 ; Pagotto, 1999).

Tableau 05 : Flux polluants issus des infrastructures routières estimés par Pagotto (1999).

Polluants	Chaussée (g/véh/km)	Glissières (mg/m/an)
Plomb	0,01-2,4	2,3
Zinc	0,1-4,3	1050
Cuivre	0,08-1,9	0,5
Cadmium	0,0004-0,02	0,17

CHAPITRES II

Concepts de bio surveillance

Introduction

Les appareils classiques d'analyse de l'air ont un coût d'investissement et d'utilisation élevés, ce qui a pour conséquence une faible représentativité de ces outils, tout d'abord à l'échelle globale puisque non utilisés dans certains pays, mais également à l'échelle locale par l'impossibilité de constituer des maillages. Développée à partir des années 1960, la bio-surveillance végétale de la qualité de l'air présente une alternative intéressante grâce à l'utilisation de bio-accumulateurs. Pour les études de bioaccumulation, des espèces résistantes aux stress de pollution sont utilisées (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

2.1. Définition

Garrec et Van Haluwyn (2002) ont défini la bio-surveillance et ont décrit les différents concepts qui y sont attachés. En effet la bio-surveillance est définie comme : « *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 et pour en suivre l'évolution* ».

Le terme « bio-surveillance » est devenu très répandu, Salines et Boudet (2011) ont d'ailleurs récemment présenté les principales acceptations du mot bio-surveillance, en distinguant la biosurveillance humaine et environnementale (cette dernière étant également nommée éco-surveillance).

Si les organismes vivants les plus divers peuvent être utilisés, les végétaux en sont les outils privilégiés. La diversité végétale offre un large panel d'organismes utilisables : Bryophytes, Lichens, Plantes supérieures qui sont employés spécifiquement ou non pour un grand nombre de polluants (ozone, oxydes d'azote, métaux lourds, HAP dioxines, pesticides ...).

Le recours à des méthodes basées sur des observations qualitatives et/ou quantitatives des organismes vivant dans les milieux naturels est rapidement apparu comme un moyen potentiel de pallier les insuffisances des méthodes d'analyses chimiques.

A l'heure actuelle, deux approches complémentaires, basées sur l'étude des organismes vivants, sont employées :

- la mesure, au sein d'individus provenant du milieu naturel, de paramètres moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques, regroupés sous le terme de biomarqueurs. Un biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (Lagadic et *al.*, 1997a).

- la recherche de certaines espèces ou de certains groupes d'espèces qui renseignent, par leur présence (ou leur absence) et/ou leur abondance, sur la qualité du milieu, rassemblées sous le terme de bioindicateurs.

Lagadic et *al* (1998) considèrent que les bioindicateurs sont « *des espèces ou groupes d'espèces qui, par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie* ».

Dans le cadre de l'emploi de bioindicateurs pour l'évaluation de la qualité de l'environnement, une attention particulière doit être accordée à deux types d'espèces, les *espèces bioaccumulatrices* et les *espèces sentinelles*, notamment parce qu'elles permettent de faire le lien entre bioindicateurs et biomarqueurs.

Les espèces bioaccumulatrices présentent, de part leur mode de vie et/ou leurs caractéristiques physiologiques et métaboliques, la capacité de bioaccumuler certains contaminants directement à partir du milieu ambiant ou par d'autres voies (ex nourriture) jusqu'à des niveaux nettement supérieurs au niveau de contamination du milieu physique (eau, sédiments, atmosphère, etc.). Deux processus sont responsables de la bioaccumulation de xénobiotiques dans les organismes : d'une part la bioconcentration qui est un transfert direct à partir du milieu environnant et d'autre part la bioamplification qui résulte du transfert de molécules chimiques par voie trophique [(Ramade, 1979 ; Amiard et Amiard-Triquet, 1980) *in* Lagadic et *al.*, 1998]. L'accumulation de certains polluants par les organismes

bioaccumulateurs facilite leur mise en évidence et leur quantification par des méthodes chimiques et/ou physiques en procédant à l'analyse d'échantillons de ces espèces. Les espèces bioaccumulatrices sont de ce fait employées fréquemment dans les systèmes de surveillance de la contamination de milieux naturels par les micropolluants, notamment au travers de réseaux de bio-surveillance (biomonitoring).

Les espèces sentinelles constituent un type particulier d'organismes indicateurs. Il s'agit de toute espèce vivante susceptible d'être utilisée en tant qu'indicateur de la présence et de la toxicité d'au moins un contaminant, et qui permet d'évaluer les effets potentiels de ce contaminant sur la santé humaine et/ou celle de l'environnement [(Lower et Kendall, 1990 ; Sheffield et Kendall, 1997) in Lagadic et al., 1998]. Les espèces sentinelles vivent sur le site à étudier, soit qu'elles y soient présentes spontanément, soit qu'elles y soient introduites à dessein.

Il est utile de distinguer entre les plantes bioindicatrices et bioaccumulatrices. Les premières sont des espèces qui, dans la présence de teneurs anormales en métaux, sont soumises à des changements morphologiques et/ou physiologiques en raison de conditions de stress; les deuxièmes sont des espèces où les concentrations en métaux sont plus élevées que ceux trouvées dans différentes espèces vivantes dans la même région (Witting, 1993).

Les espèces bioindicatrices sont plus adaptées pour une utilisation dans la surveillance de l'environnement, lorsque les espèces bioaccumulatrices sont utilisées à des faibles concentrations de métaux dans les sols et les eaux (Aceto et al., 2003).

2.2. Stratégie de mise en œuvre de la bio-surveillance

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

2.2.1. La méthode *in situ*

La méthode *in situ* ou biosurveillance passive, utilise les organismes déjà présents sur le site (organismes indigènes). Elle a l'avantage d'être rapide. En effet, les végétaux ayant déjà été exposés aux polluants, il ne reste plus qu'à les collecter et à les analyser. On doit cependant veiller à ce qu'ils aient :

- Une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentatifs de la zone étudiée,
- Une saisonnalité compatible avec les objectifs de la campagne de mesure,

- Un mode de collecte facile,

La densité et la localisation des emplacements de prélèvement devront répondre aux objectifs de l'étude. Les enquêtes à grande échelle couvrant de plus grands domaines exigeront évidemment plus d'emplacements que des études de sources ponctuelles d'émission. Pour ces dernières, les sites d'échantillonnage sont fréquemment choisis le long de transepts ou de gradients par rapport à la source de pollution.

Cependant, l'utilisation d'espèces indigènes détermine bien souvent le nombre et la localisation des emplacements.

A l'emplacement de prélèvement, une certaine attention devrait être accordée au substrat, celui-ci pouvant affecter la composition élémentaire de l'espèce étudiée.

2.2.2. La méthode des transplants

La méthode des transplants ou bio-surveillance active, emploie des organismes dit transplantés. Elle peut être utilisée lorsque la méthode *in situ* n'est pas envisageable (absence d'organismes correspondant aux critères de l'étude). Cette dernière nécessite plus de temps. En effet, il faut laisser le temps aux transplants (organismes provenant d'une zone « saine ») d'accumuler les polluants présent dans leur nouvel environnement, cette phase d'exposition pouvant-être plus ou moins longue selon le type d'organismes choisi et le polluant étudié.

La transplantation est une technique expérimentale où les organismes utilisées pour l'étude sont transférés d'un environnement non pollué (milieu dit 'sain' ; zone rurale) vers un site pollué ou suspecté de l'être. Cette alternative à la méthode *in situ* permet de palier à certain problème comme :

- L'absence d'espèces utilisable dans la zone d'étude (niveau de pollution trop élevé, absence d'habitats fait de l'urbanisation ou de l'industrialisation),
- La mauvaise répartition d'une espèce qui ne permet pas un échantillonnage représentatif de la zone d'étude.

Mais l'avantage principale de la transplantation (tableau 06) est qu'il permet un total contrôle du temps d'exposition. Pour exploiter les résultats obtenus par la méthode des transplants, les concentrations initiales en polluant (avant la phase d'exposition) doivent être déterminées. Celles-ci sont souvent retranchées aux concentrations après exposition pour calculer les quantités d'éléments déposées pendant la période d'exposition.

Tableau 06 : Comparaison entre la méthode in situ et la méthode des transplants (Salines et Boudet, 2011)

In situ	Transplants
Les résultats peuvent être obtenus en quelques jours.	Le temps d'exposition des transplants est plus long.
Les résultats démontrent la pollution des années précédentes.	Les résultats illustrent la pollution pendant la période d'exposition.
Les 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 risque de vandalisme.	Risque potentiel de vandalisme.
Coûts liés aux transports vers les de prélèvement et aux analyses chimiques.	Coûts supplémentaires relatifs aux matériaux et au temps de préparation des transplants avant exposition.
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 contrôlés.
Taux de dépôt de pollution difficiles à estimer.	Les taux de dépôts 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, le 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 ou subir des changements de morphologie/physiologie, qui affectent l'absorption (exposition à certains polluants sur long terme)	Les transplants sont originaires d'environnement sain.

Néanmoins les utilisations de la biosurveillance sont nombreuses et variées :

- Estimation des retombées atmosphériques de métaux à différentes échelles : l'air intérieur des locaux, au niveau local, national et international ;
- Estimation de l'impact autour d'infrastructures routières : études de la qualité de l'air en zone urbaines ;
- Estimation de l'impact d'une installation ; biosurveillance des métaux lourds ;
- Etudes préliminaires (cartographie) en vue d'études classiques ultérieures pour localiser judicieusement les futurs points de prélèvements (pluviomètres, échantillonneur d'air...).
- Identification des sources atmosphérique de métaux lourds par le biais de mousse ou de lichens.
- Etudes rétrospectives (utilisation des sphaignes d'un herbier comme archive du dépôt atmosphérique du plomb (Salines et Boudet, 2011).

2.3. Organismes utilisés pour la bioaccumulation végétale des éléments traces métalliques

Dans les études actuelles de bioaccumulation des éléments traces métalliques atmosphériques, trois grands types d'organismes sont utilisés tout en utilisant nos deux approches passive et active: les lichens, les mousses et les végétaux supérieurs.

2.3.1. Les lichens

Un lichen est une association symbiotique entre un champignon et une algue (dans la plupart des cas un Ascomycète et une algue verte). Le thalle constitue la partie végétative visible et porte les organes reproducteurs. En fonction de sa forme, on distingue différents types de thalles : crustacés, foliacés, lépreux, fruticuleux, ou encore gélatineux. Le champignon fournit l'eau et les sels minéraux ainsi qu'une protection à l'algue, qui est capable de synthétiser de la matière organique via la photosynthèse. Les lichens sont des organismes poïkilohydriques, c'est-à-dire que leur humidité dépend de celle de l'environnement. Ils sont pérennes, dépourvus de cuticule, de stomates et de racines, ce qui les rend exclusivement dépendants de l'atmosphère pour leur nutrition.

N'ayant pas de moyen de protection vis-à-vis des polluants, ils absorbent les éléments traces métalliques présents dans l'air en même temps que les éléments qui leur sont nécessaires, et les accumulent dans leurs tissus. Ces mécanismes d'accumulation ont été décrits et synthétisés dans diverses publications notamment par Garty (2001). Selon cet auteur, les éléments traces métalliques se déposent à la surface des lichens sous forme de particules sèches ou, lors de

précipitations sous forme humide (particules et/ou éléments dissous dans l'eau). Les particules retenues à l'intérieur du thalle s'y désagrègent progressivement, et les éléments relégués se fixent sur les sites chargés extracellulaires (pariétaux et membranaires, généralement des groupes carboxyliques). Les formes ioniques se fixent très rapidement sur des sites pariétaux extracellulaires (du type carboxyliques par exemple). Ces éléments ainsi adsorbés sont rapidement échangeables, donc les quantités ainsi fixées reflètent les expositions récentes. Cependant, lorsque les éléments se trouvent sous forme de particules insolubles, ils n'en sont que très lentement extraits. Ainsi, ils sont accumulés dans les thalles selon les quantités de particules dans l'atmosphère et la période d'exposition (Bergamaschi et al., 2007), en fonction de leur spéciation dans les thalles, les éléments peuvent pénétrer au sein des cellules par des mécanismes actifs et passifs.

D'après Cuny et al (2002), les lichens colonisent un grand nombre de milieux et de supports, notamment l'écorce des arbres (lichens épiphytes). Leur observation peut donc être réalisée sur de vastes territoires, avec une densité importante de points. Toutes ces caractéristiques ont fait que les lichens ont été l'objet de très nombreuses recherches concernant la pollution atmosphérique en général et la contamination par les éléments traces métalliques en particulier Loppi et al (1999 ; 2004).

Bargagli (1998) dresse une liste des espèces lichéniques utilisables comme bio-accumulateurs des éléments traces métalliques, en fonction de leur écologie et de leur tolérance à la pollution de l'air. Ainsi, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* ou encore *Xanthoria parietina* sont des lichens à large distribution assez résistants à la pollution de l'air, pouvant être récoltés en environnement urbain, au contraire d'espèces comme *Evernia prunastri* et *Pseudevernia furfuracea* qui sont plus sensibles. Même si un nombre minimal d'espèces se retrouvent toujours sur le terrain, le choix de l'espèce se fait en fonction de la disponibilité des lichens et des caractéristiques écologiques de la zone d'étude. Ainsi, *Hypogymnia physodes* est largement utilisée dans les pays scandinaves ou d'Europe de l'Est, alors qu'en Algérie ce sont les espèces *Xanthoria parietina* (Maatoug et al., 2010)

2.3.2. Les mousses

Les mousses, comme les hépatiques et les anthocérotes, font partie des Bryophytes. A l'instar des végétaux supérieurs, les bryophytes ne synthétisent pas de lignine, et ne possèdent en conséquence pas de trachéïdes, ni de vaisseaux conducteurs classiques. Cependant, elles possèdent souvent d'autres structures conductrices (hydroïdes et leptoïdes) qui assurent le

transport de l'eau et des sucres. Tout comme les lichens, ce sont des organismes poïkilohydriques. Elles n'ont aucune parade contre la dessiccation, mais sont capables de reviviscence après un état de déshydratation. Même si elles se développent préférentiellement dans les endroits humides, au sol comme sur les écorces des arbres (mousses épiphytes), elles sont capables de s'adapter à des environnements plus secs.

Les mousses sont des végétaux de forme thalloïde, qui ne possèdent pas de racines, mais des rhizoïdes qui permettent leur ancrage, mais n'interviennent pas dans l'absorption d'eau. Leur cuticule mince est généralement dépourvue de cires. Les mousses absorbent donc directement l'eau et les éléments nutritifs, mais aussi les polluants présents dans les dépôts atmosphériques humides ou secs.

De par l'absence de système racinaire et de cuticule bien développée, le substrat a peu d'influence sur les niveaux de contaminants dans leurs tissus, et le piégeage des polluants se fait très facilement. L'accumulation des polluants se fait principalement via des mécanismes d'échanges cationiques, avec une très faible résistance à la diffusion des éléments absorbés. L'architecture des mousses et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Amblard-Gross et *al.*, 2002 ; Fernandez et *al.*, 2002). De plus, les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent, notamment aux éléments traces métalliques, ce qui en fait des organismes adéquats pour la bio-surveillance de ceux-ci (Krommer et *al.*, 2007).

Certains auteurs concluent que les mousses seraient plus performantes pour le piégeage des éléments traces métalliques présents dans les dépôts humides et grossiers, que pour l'accumulation des dépôts secs (Sucharova, 1998). Cependant, des travaux plus récents montrent que la morphologie de la mousse est très importante par rapport à la granulométrie des particules. On peut distinguer deux types de morphologies. Les mousses pleurocarpes sont généralement disposées à plat, entremêlées et très ramifiées. A cause de leur nature ectohydrique, elles piègent les éléments et nutriments directement à partir des dépôts secs et grossiers. Au contraire, les mousses acrocarpes sont le plus souvent dressées, touffues et peu ramifiées. Bien qu'ectohydrique, elles sont plus tolérantes à une sécheresse prolongée que les pleurocarpes, et sont capables de survivre dans des environnements relativement hostiles (en bord de route, près des usines, ou en ville). Ainsi, les mousses acrocarpes seraient les plus aptes aux dépôts secs, et les genres *Bryum*, *Tortula* et *Ceratodon* sont les plus utilisés actuellement (Rzepka et Cuny, 2008).

Par ailleurs, Pesch et *al* (2006) ont montré que les paramètres climatiques et les caractéristiques écologiques régionales influencent l'accumulation des éléments traces métalliques dans les mousses. En outre, les mousses peuvent aussi être utilisées comme bio-intégrateurs pour estimer la qualité globale de l'air en observant la distribution qualitative et quantitative des mousses épiphytes (Krommer et *al.*, 2007).

2.3.2.1. Mécanisme de piégeage des particules de l'air et des métaux lourds

Depuis les premiers travaux de Tamm (1953) puis de Rühling et Tyler (1970 ; 1973), les mousses sont des indicateurs couramment utilisés dans le suivi du dépôt atmosphérique métallique (Zechmeister et *al.*, 2003a ; Onianwa, 2001).

Suivant les propriétés physico-chimiques des contaminants, les éléments captés par le brin de mousse vont être différemment localisés au niveau cellulaire. Quatre localisations sont ainsi distinguées (Brown et Bates, 1990 ; Chakraborty et Paratkar, 2006) :

- (1) à la surface du brin, par immobilisation des composés particuliers entre les feuilles ;
- (2) dans l'espace intercellulaire, sous forme d'ions libres ;
- (3) à l'extérieur des cellules, fixés à des ligands présents dans la paroi cellulaire ;
- (4) à l'intérieur des cellules.

La fixation des particules est affectée par la taille de ces dernières et la structure de surface des mousses. L'échange d'ions est un processus physiologique et chimique rapide qui est affectée par le nombre et le type de sites d'échange de cations libre, l'âge des cellules, leur réaction à la dessiccation, condition de croissance, la température, les précipitations, le pH, la composition des polluants, et la lixiviation (Tyler, 1990). Dans le procédé d'échange d'ions, cations et anions deviennent attachés à des groupes organiques fonctionnels de la paroi cellulaire essentiellement par chélation (Rao, 1984).

La composition chimique de dépôt a un grand effet sur l'accumulation des polluants, car l'efficacité de l'absorption des mousses pour les éléments individuels varie considérablement (Berg et *al.*, 1995 ; Ziechmeister et *al.*, 2003_b). Une forte proportion de la charge polluante accumulée dans les mousses par un dépôt humide. La quantité, la durée et l'intensité de la précipitation et l'accumulation affectent lixiviation (Berg et *al.*, 1995). La contribution de l'augmentation des dépôts secs sur le déplacement de l'humide au climats arides (Couto et *al.*,

2004). Il existe des différences considérables dans le lessivage des éléments selon qu'ils sont liés à la paroi cellulaire, ou accumulés sur la surface des mousses (Čeburnis et Valiulis, 1999).

L'efficacité d'absorption est aussi affectée par la concurrence pour les sites d'échange de cations libre; par exemple, la présence des sels de mer et des dépôts acides a un effet sur l'absorption de métaux par des mousses (Gjengedal et Steinnes, 1990). Le type de végétation et de la poussière du sol ont également été signalés comme cause des différences régionales en matière d'efficacité d'absorption (Čeburnis et *al.*, 1999).

En général, la meilleure corrélation a été trouvée entre les concentrations dans les mousses et les dépôts humides, pour les éléments qui ont une grande efficacité de l'absorption de dépôt humide (par exemple, Pb, Cd, Co, Cu) (Ross, 1990).

2.3.2.2. Facteurs influent sur les concentrations de métaux traces dans la mousse

Les mousses épiphytes sont considérées comme des organismes de biosurveillance, cela est, en grande partie, due à l'absence de racines en les comparons avec les plantes supérieures. Ainsi, elles obtiennent leur approvisionnement en minéraux uniquement de sources aériennes et non du substrat (Martin et *al.*, 1982).

En plus des polluants atmosphériques qui proviennent des sources anthropiques, les concentrations de ces polluants dans les mousses sont affectées par de nombreux autres facteurs «naturels» associés aux propriétés morphologiques et physiologiques des mousses, et l'endroit où les mousses croient.

Il existe des différences naturelles dans la composition chimique entre les espèces de mousses et même au sein de la même espèce (Thöni et *al.*, 1996). De petites quantités de nutriments peuvent passer du substrat vers les mousses (Økland et *al.*, 1999), la translocation des nutriments peut également être dans différentes parties de la mousse (Brūmelis et Brown, 1997). Les particules minérales provenant du sol et du socle rocheux augmentent également les concentrations Fe, Cr, Al et Ti dans les zones qui ont une végétation clairsemée, un climat aride, ou exposé à un sol minéral (Mäkinen, 1994). D'autres facteurs affectant les concentrations suivantes (Steinnes, 1993 ; Ford et *al.*, 1995 ; Zechmeister, 1995; DeCaritat et *al.*, 2001 ; Gerdol et *al.*, 2002):

* Lixiviation à partir des couches de végétation situées au-dessus des mousses

- * Le statut nutritif du site.
- * L'eau «fonte des neiges »
- * zone de végétation
- * L'altitude a un effet en raison de changements dans la quantité de précipitations, de la poussière ou de la production de biomasse.
- * L'âge de la mousse. La constatation que les pièces plus âgées de mousses, ont une concentration plus élevée des métaux, a conduit à l'hypothèse que les plantes fournissent un enregistrement historique et interactif de l'alimentation en métal dans l'environnement.

2.3.3. Les végétaux supérieurs

Les principaux critères d'un bon bioaccumulateur des éléments traces métalliques atmosphériques sont : sa large représentation dans la zone d'étude, sa grande distribution géographique, sa facilité d'échantillonnage et d'identification, mais surtout la possibilité de faire la différence entre les dépôts atmosphériques et le piégeage racinaire (Palmieri et *al.*, 2005).

De par leur dépendance exclusive vis-à-vis de l'atmosphère, les lichens et les mousses sont donc considérés comme les meilleurs bio-accumulateurs. Cependant, dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique élevée provoque la raréfaction de ces organismes (Tomasevic et *al.*, 2005 ; Berlizov et *al.*, 2007 ; Gratani et *al.*, 2008), certains végétaux supérieurs qui persistent peuvent être utilisés comme bio-accumulateurs.

Ainsi, Bargagli (1998) dresse une liste non exhaustive des espèces végétales qui peuvent servir aux études de bio-surveillance des éléments traces métalliques. Parmi celles-ci figurent notamment le tilleul, le bouleau (le chêne (*Quercus ilex*), le peuplier (*Populus* sp), le pin (*Pinus halepensis* Mill), le platane (*Platanus acerifolia*) et le cyprès vert (*Cupressus sempervirens*).

Les espèces sont choisies en fonction de la localisation et de l'échelle de la zone d'étude. Par exemple, le platane et le cyprès, sont adéquats pour les études locales, en zone rurale ou industrielle, alors que lors de campagnes régionales, le bouleau, le chêne, ou l'aulne sont plus indiqués en zone urbaine. Des études peuvent également être réalisées en forêts dans l'hémisphère Nord, sur les aiguilles de pins ou les feuilles de hêtre (Bargagli, 1998).

De plus, elles sont résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent (Pignata et *al.* 2002). Le cyprès et le platane également ont fait l'objet d'une utilisation en approche passive, dans le cadre d'études à Tiaret (Maatoug et *al.*, 2007). Le plus souvent, l'étude de l'accumulation se fait sur les feuilles. En effet, les particules se déposent en surface sous forme de dépôts secs ou humides (pluie, neige, ou brouillard), par gravité et par impaction sous l'effet du vent et peuvent ensuite être retenues en surface (Breulmann et *al.*, 2002, Gratani et *al.*, 2008). Mais les particules peuvent aussi se retrouver dans le sol, après le lessivage par les pluies, et être absorbées par les racines puis circuler jusqu'aux feuilles (Breulmann et *al.*, 2002), ce qui rend l'utilisation des végétaux supérieurs en tant que bio-accumulateurs plus complexe.

Des auteurs ont développé différentes stratégies pour évaluer la part des éléments traces métalliques réellement imputable aux dépôts atmosphériques. Par exemple, le lavage des feuilles permet de comparer la quantité d'éléments captés par les racines (mesurée dans les feuilles lavées) à celle des éléments piégés par voie racinaire et foliaire (mesurée dans les feuilles non lavées), et d'en déduire la part imputable aux dépôts atmosphériques. Une autre stratégie consiste à comparer les quantités d'éléments retrouvés dans les feuilles, le bois, et l'écorce.

Rossini Oliva et Mingorance, (2006), montrent que les concentrations en éléments traces métalliques retrouvées dans l'écorce et les feuilles de Pin et de Laurier sont considérablement supérieures à celles dosées dans leur bois. Le bois est un élément interne, qui accumule principalement les éléments provenant du sol, au contraire des feuilles et de l'écorce qui sont exposées aux particules atmosphériques. Le ratio des concentrations dans l'écorce et les feuilles par rapport à celle dans le bois permet de déduire la part de la contamination atmosphérique directe. Dans les endroits très pollués, notamment par le plomb, où les lichens, mousses et feuilles d'arbres sont rares ou inaccessibles, les écorces peuvent être utilisées seules comme bio-accumulateurs. Les particules s'y déposent sous forme de dépôts secs, et par impaction sous l'effet du vent.

D'après Maatoug et *al.*, (2007), le rapport matière fraîche/matière sèche (MF/MS) est l'un des indicateurs de la santé d'un végétal dans une région donnée. En effet, plus l'air est sain, plus le développement du végétal est normal (le poids de la matière fraîche est normal) ; par contre, si l'air est contaminé, le développement du végétal est perturbé, entraînant des chloroses, des

nécroses, etc., au détriment de la matière fraîche. Le rapport MF/MS d'une zone polluée est inférieur à celui enregistré dans une zone non polluée.

Les capacités d'accumulation varient en fonction de l'espèce d'arbre, l'épaisseur, la porosité et la rugosité de l'écorce. Chaque nouvelle couche constituant l'écorce est isolée par rapport à l'intérieur du tronc, et il n'y a pas de phénomènes de translocation, ce qui convient bien pour l'étude des tendances spatio-temporelles. En outre, les transports des éléments à partir des racines vers l'écorce peuvent être considérés comme négligeables (Bargagli, 1998).

Cependant, Berlizov et *al.*, (2007) soulignent que cette faible part d'éléments traces métalliques provenant de la nutrition racinaire constitue un bruit de fond qu'il est préférable d'évaluer. Généralement, quelle que soit l'espèce d'arbre considérée, les écorces sont meilleures accumulatrices de plomb, cuivre, cadmium et de zinc que les feuilles, et sont utilisées dans les études à proximité de hauts fourneaux, mines d'extraction, routes très fréquentées ou autres environnements lourdement pollués. L'âge de l'écorce diminuant avec la profondeur, il est aussi possible de réaliser des historiques en subdivisant les échantillons d'écorce dans le sens du rayon pour évaluer les changements dans le temps (Bargagli, 1998).

Enfin, la dendrochimie peut être une troisième approche possible de bio-surveillance grâce aux arbres. Elle se base sur l'analyse chimique des cercles de croissance annuelle, constitués du nouveau bois produit au cours du printemps et de l'été. Cette démarche postule que la constitution chimique des incréments annuels de bois reflète la chimie de l'environnement dans lequel ils se forment, ce qui permet de faire des historiques de la pollution. Mais ces études rétrospectives supposent que les éléments traces métalliques soient absorbés proportionnellement à leur abondance dans l'environnement, sans remobilisation ultérieure, et que leur profil de distribution soit stable et similaire dans les différentes parties du tronc. Ces paramètres étant difficiles à vérifier sur le terrain, la dendrochimie fait l'objet de peu d'applications, mais reste d'actualité.

CHAPITRE III

Généralités sur les bryophytes

Introduction

Ce sont des végétaux anciens, assez discrets et méconnus, faisant la transition évolutive entre les algues et les végétaux vasculaires ou supérieurs, tels que les ptéridophytes et les plantes à fleurs. Les bryophytes ne sont que partiellement émancipés du milieu aquatique. Ce sont des cryptogames, se reproduisant grâce à des spores libérées et disséminées par le vent et possédant un cycle à deux générations séparées.

3.1. Systématique des bryophytes

L'embranchement des bryophytes (du grec *bruos* : mousse et *phuton* : plante) comprend en grande majorité des végétaux chlorophylliens. Organismes de petite taille, elles ne possèdent ni racine, ni réel vaisseau conducteur.

Les bryophytes sont des organismes généralement photo-autotrophes, elles colonisent tous les milieux terrestres et aquatiques à l'exception du milieu marin (Ah-Peng, 2003 ; Asakawa et al., 2013).

Les bryophytes représentent le groupe de plantes terrestres le plus diversifié après seulement les plantes à fleurs (350 000 espèces). Composé de 15 000 - 25.000 espèces, ils se produisent sur tous les continents et dans tous les lieux habitables par les plantes photosynthétiques. Et, on pourrait arguer que gamétophytes de bryophytes sont parmi les plus "élaborer" de tout phylum des plantes (Aceto et al., 2003 ; Renzaglia et al., 2000 in Glime 2013).

Les bryophytes se répartissent, de manière simplifiée, en trois lignées les mousses, les hépatiques et les anthocéros. Cette classification est basée sur des critères morphologiques et anatomiques (Leblond et Boucher, 2011).

- Les **Hépatiques** sont généralement divisées en deux groupes majeurs les *marchantiideae*, hépatique à thalle différencié et les *jungemanniideae* comprenant les Metzgeriales, hépatiques à thalle peu différencié et les jugermaanniales hépatiques à tige feuillée, ces dernières représentent 85% des hépatiques (Crandall-Stotler et Stotler, 2000),
- Les **Anthocéros** Ce sont des organismes thalloïdes, de petite taille et abondants dans les zones tropicales. Ils comprennent environ une centaine d'espèces (Amirouche et al., 2010).
- Les **Mousses** tige feuillée à symétrie axiale ; feuille souvent à nervure ; sporophyte complexe avec une capsule et une coiffe et souvent une soie (Frahm, 2001).

3.2. Biologie et morphologie des bryophytes

Les Bryophytes, au sens large, sont le deuxième plus grand phylum de plantes terrestre, en nombre d'espèces après les Angiospermes et se rencontrent sur tous les continents. Au cours de leurs cycle biologique elles présentent deux formes morphologiquement distinctes l'une haploïde, le gamétophyte (partie qui produit et porte les gamètes), l'autre, le sporophyte (partie qui porte les spores).

Les Bryophytes semblent d'autant plus complexes en raison de leur petite taille. Celle-ci s'explique par l'absence de lignine et de tissus conducteurs développés (Héban 1977 *in* Ah-Peng, 2007) ; certaines d'entre elles ont plus ou moins développé un système de transport par capillarité par des cellules appelées hydroïdes (rôle affine du xylème) et leptoïdes (rôle affine du phloème). Les rhizoïdes ont pour principal rôle de fixer la plante mais n'ont pas pour fonction de transférer des liquides, de ce fait les bryophytes dont les feuilles sont composées principalement d'une couche unicellulaire et ne possédant pas de cuticule reçoivent leurs nutriments des précipitations, poussières et du sol par capillarité, et de l'eau pour les mousses aquatiques. De par ces caractéristiques, les bryophytes ont ainsi été utilisées comme bioindicateurs des milieux aquatiques (Ah-Peng et Rausch de Traubenberg, 2005) et des milieux terrestres (Gombert et *al.*, 2004; Leblond et *al.*, 2004) pour les polluants micro-organiques et métalliques.

L'absence de racines les préserve de l'influence de leur substrat d'accueil et leur permet de refléter surtout la qualité de l'environnement extérieur en établissant un échange direct entre les feuilles et l'eau ; de même l'absence de système vasculaire limite les transferts internes des polluants dans l'organisme. De plus, elles résistent à de fortes concentrations en métaux et à des pollutions importantes, accumulent très rapidement un grand nombre de micropolluants. Parmi les stratégies de vie communes entre les bryophytes, la résistance à la dessiccation [(Bewley 1979; Oliver et *al.*, 2000a; Oliver et *al.*, 2000b; Proctor 2000; Proctor 2001; Proctor et Tuba 2002; Wood 2007; Proctor et *al.*, 2007 *in press*)] *in* Ah-Peng, 2007] représente une adaptation majeure aux conditions de vie des milieux terrestres (Proctor 2000). Comme les bryophytes ne possèdent pas de cuticule lorsque le milieu se dessèche, elles perdent rapidement leur eau en compensant par le cytoplasme de leur cellule qui est résistant à la dessiccation. Ainsi la plupart des bryophytes peuvent suspendre leur métabolisme en absence d'eau pendant de longues périodes de déshydratation et de le réactiver quand les temps sont favorables (reviviscence) : ce sont des organismes dits poïkilohydriques.

Les bryophytes sont différenciées en fonction de la position du sporophyte sur le gamétophyte. D'après Bardat et Boudier, (2002) on distingue:

Les mousses **acrocarpes** chez lesquelles les sporophytes sont terminaux. Ces plantes sont souvent en touffes serrées ou en coussinets permettant une meilleure rétention de l'eau entre les tiges (Fig. 05) (Aceto et *al.*, 2003).

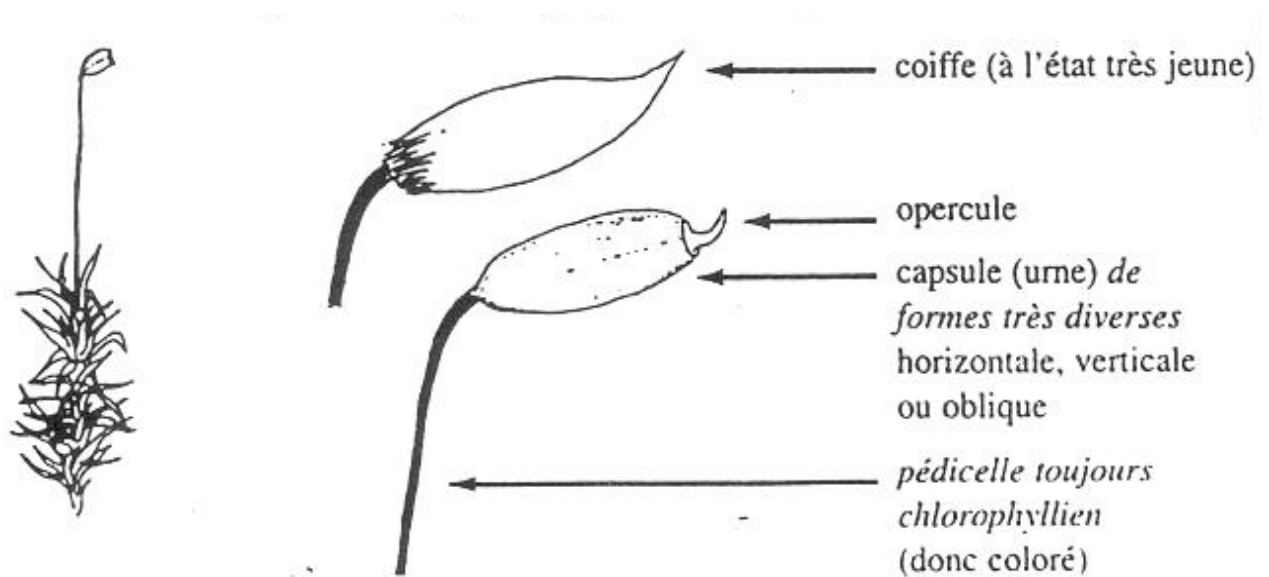


Figure 05 : structure basique de mousse acrocarpe (Manneville et Fourier, 2011).

Les mousses **pleurocarpes** chez lesquelles le sporophyte est latéral. Il s'agit en général de mousse de grande taille à axe ramifiés et rampants.

Les sporophytes ne terminent pas les rameaux, mais partent de l'aisselle des rameaux (Fig. 06).

Les mousses ont pour la plupart la particularité d'avoir des nervures dans les feuilles (Aceto et *al.*, 2003 ; Manneville et Fourier, 2011).

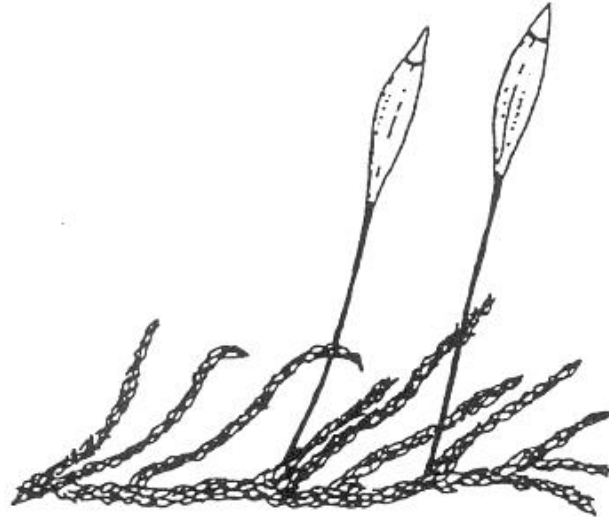


Figure 06 : structure basique de mousse pleurocrocarme (Manneville et Fourier, 2011).

3.3. Cycle de vie

On connaît environ 25 000 espèces de bryophytes. Leur aspect est varié mais, quelles que soient les formes, toutes naissent, croissent et se reproduisent suivant le même processus. Autrement dit, tout ce groupe de plantes est essentiellement caractérisé par son cycle de développement (Ozenda, 1990).

Le cycle de vie des bryophytes est haplodiplophasique, c'est une alternance de la phase haploïde (gamétophyte) et diploïde (sporophyte). En ce qui concerne, la reproduction sexuée, la présence d'eau est nécessaire à la fécondation, l'eau joue un rôle dans le transport des anthérozoïdes (gamète mâles) vers l'archégone. La spore, première cellule gamétophytique va pouvoir former un protonéma filamenteux ramifié qui donnera naissance à un gamétophyte feuillé. Ce dernier peut ensuite produire des propagules qui en germant formeront de nouveaux gamétophytes (Lopez, 1997).

Selon Petiot (2003), le cycle de vie des bryophytes commence par une spore se développant en une structure filamenteuse connue comme protonéma à partir duquel apparaît un jeune bouton qui se développe en un gamétophyte qui peut être une plante feuillée ou thalloïde. Quand la plante feuillée ou thalloïde atteint la maturité, elle produit des structures reproductrices : l'antheridie (organe reproducteur mâle) et l'archégone (organe reproducteur femelle). Ces deux organes reproducteurs sont protégés par un appendice feuillé périgonial (protégeant l'antheridie) et les feuilles périchantiales (protégeant l'archégonie). Une antheridie est constituée d'une tige et une structure sphérique contenant des anthérozoïdes biflagellés. L'archégone est quant à lui, constitué d'un canal cellulaire. Quand l'archégone atteint la

maturité, le canal cellulaire se désintègre et devient mucilagineux. Grâce à l'eau de pluie, un anthérozoïde se dépose sur l'archégone, nage à travers la substance mucilagineuse dans le canal et finalement atteint l'oosphère, s'unit avec cette dernière et forment avec elle le zygote. Le zygote subit la division mitotique pour produire un embryon multicellulaire qui éventuellement se développe en sporophyte. Ce dernier a trois parties : le pied, le zeta et la capsule. Le calyptra est souvent présent au sommet de la capsule. Le sporophyte reste attaché au gamétophyte par le pied et à partir duquel il obtient des nutriments. La capsule peut relativement être simple ou complexe en structure. Dans la capsule, les cellules de sporogone produisent les spores tétrades par méiose ou division réductionnelle. Quand le sporophyte atteint la maturité, la capsule s'ouvre, libère les spores. Les spores sont soit apportées par le vent, dispersées et s'éloignent de la plante - mère. Sous les conditions climatiques favorables et un substrat souhaitable, elles germent pour produire le protonéma et le cycle se répète.

Il y a ainsi alternance de génération, la génération gamétophytique haploïde alterne avec la génération sporophytique diploïde.

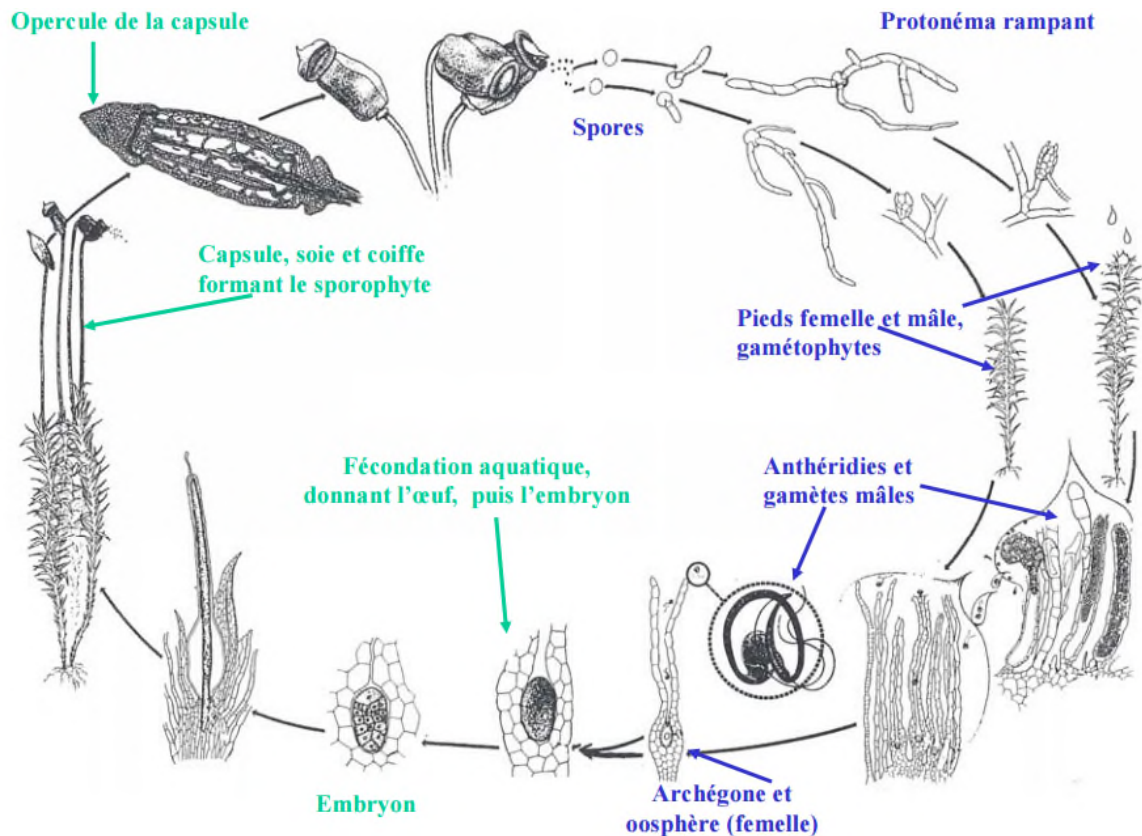


Figure 07 : cycle de développement d'une mousse
(Ah-Peng, 2007 ; Manneville et Fourier, 2011).

3.4. Ecologie des bryophytes

A quelques exceptions près, les bryophytes sont des plantes terrestres. Ne possédant qu'une très mince cuticule protectrice, les mousses sont sujettes à la dessiccation et ont une prédilection pour les endroits humides et ombragés.

Elles possèdent la faculté de s'adapter à des milieux où l'éclairage est très faible (0.1% de la lumière incidente du jour est suffisante). Dépourvues de véritables racines, les mousses absorbent l'eau sur toute la surface de leurs feuilles, de leurs tiges ou de leur lame thalloïde.

Pour se protéger de la dessiccation, certaines mousses se resserrent au fur et à mesure qu'elles perdent de l'eau, entraînant ainsi un raccourcissement des faces exposées. D'autres stockent de grandes quantités d'eau dans le coussinet (ex : les sphaignes) et peuvent le relarguer dans les milieux ambiants agissant ainsi comme des régulateurs d'eau (Jahns, 1989 *in* Gilbert et al., 1999).

3.5. Les facteurs influents les bryophytes

3.5.1. Les facteurs atmosphériques influents les bryophytes

3.5.1.1. L'humidité

D'une manière générale, la vie des bryophytes est très dépendante de l'eau et des mécanismes biologiques ou des dispositifs particuliers permettant son économie. Toute la plante à la capacité d'adsorber de l'eau et sa circulation au sein du végétal se réalise selon divers processus :

- **par capillarité externe** : une structure en touffe, des feuilles appliquées contre l'axe, la présence de tomentum (manchon de *nemata*), des parois cellulaires irrégulières sont autant d'éléments favorables à la circulation mais également à la rétention d'eau,
- **par capillarité interne** au sein des cellules mortes,
- **par la structure même des parois** (conduction apoplasmique, déplacement de substances par les parois cellulaires),
- **par les hydroïdes et les leptoides** qui ont souvent un rôle limité (Ah-Peng, 2007).

Cependant, il est important de rappeler, que ce sont des organismes sans racines, ni système vasculaire élaboré, ainsi les apports extérieurs (nutritifs ou aqueux) dépendent principalement du milieu atmosphérique ou aquatique dans lequel ils se situent. En règle générale, les bryophytes utilisent l'eau par toute leur surface quand celle-ci est disponible et peuvent survivre à des périodes plus ou moins longues de dessiccation. On peut noter un des paramètres d'adaptation remarquable, qui est la reviviscence, c'est-à-dire la capacité d'un individu à supporter la déshydratation très accentuée du protoplasme de ses cellules et de reprendre vie très rapidement lors du retour à des conditions favorables. De plus certains individus sont dits xérophytes, on les retrouvera dans des milieux secs, alors que d'autres sont inféodés aux milieux humides, ils sont aquatiques ou hygrophiles et dépendent du degré de saturation de la veine aqueuse (Ah-Peng, 2007 ; Manneville et Fourier, 2011).

3.5.1.2. La lumière

Les bryophytes, sauf rares exceptions, étant des végétaux chlorophylliens, autotrophes pour le carbone, la lumière solaire constitue pour elles le facteur énergétique fondamental. Chaque espèce possède ses propres exigences face à l'intensité d'éclairement, qui présente pour chacune d'elle, un minimum, un optimum et un maximum. Comme pour l'humidité, certaines espèces nécessitent une forte exposition lumineuse, comme les *Andreae*, ou au contraire

colonisent des milieux très ombragés (espèces lucifuges), supportant de très faibles éclairagements (Ah-Peng, 2007 ; Manneville et Fourier, 2011).

3.5.2. Facteurs édaphiques

Ce sont des facteurs déterminés par les caractères du substrat.

3.5.2.1. La nature physique du substrat

Les bryophytes sont retrouvées sur différents types de substrats (Manneville et Fourier, 2011):

- Sur des roches de diverses natures (calcaire, argile, sables, gneiss, granites, schistes, roches volcaniques...) comme les *Grimmiaceae Andreae*,
- Sur les différentes sortes d'humus; sur les écorces des arbres (*Orthotricaceae ...*); sur les feuilles des végétaux supérieurs (*Lejeuneaceae ...*),
- Dans l'eau libre; sur les supports artificiels (ciment, béton, tuiles etc.),
- Sur les matériaux organiques en décomposition d'origine animale (bouse, cadavre, pelote de déjection...), telle que les *Splachneaceae*. Elles se fixent aux moindres aspérités par leurs rhizoïdes.

3.5.2.2. Le pH

Les bryophytes trouvent dans leur support les ions minéraux nécessaires à leur nutrition. Selon Manneville et Fourier, (2011) on distingue ainsi:

- Pour des substrats riches en ions Ca^{2+} , on note la présence d'espèces calcicoles comme *Seligeriacalcareae* (Hedw.) Br. Eur ;
- Pour des substrats avec une dominance d'ions alcalins et alcalino-terreux, la présence d'espèces basophiles est remarquée, par exemple *Thamnobryumalo pecurum* (Hedw.) Nieuw ;
- Pour des substrats riches en H^+ , la présence d'espèces calcifuges ou acidophiles telles que *Grimmia patens* Hornsch., *Racomitriumheterostichum* (Hedw.) Brid ; sont observées.
- Pour des substrats riches en éléments métalliques (Cu, Pb, Mn...), comme par exemple le genre *Mielichhoferia* Hornsch ;
- Pour des substrats riches en éléments azotés, les espèces nitrophiles, notamment *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Br. Eur, sont présentes.

3.6. Biogéographie

Les bryophytes sont présentes dans toutes les régions du globe, de l'équateur aux terres arctiques, et du littoral aux systèmes montagneux. Les espèces ayant des exigences strictes occupent des stations particulières dans des régions bien circonscrites du globe. Mais quelques-unes sont présentes dans le monde entier telles que *Funaria hygrometrica* (Hedw.) ou *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., qui sont dites cosmopolites.

Du fait de leur petite taille et de leur capacité à occuper et exploiter d'innombrables micro-stations, les aires de répartition des bryophytes sont beaucoup moins précises et pertinentes que celles des végétaux supérieurs.

Toutefois certaines espèces sont inféodées à certains biotopes, il y a des espèces exclusives des hautes montagnes, des régions arctiques ou tropicales... De plus, leur répartition est souvent liée à leur mode de dissémination par spores, propagules ou fragments végétatifs qui peuvent s'exprimer sur de longues distances. Les bryophytes, organismes résistants au pouvoir colonisateur indéniable, peuvent être des indicateurs de variations passées mais plus couramment, elles sont utilisées en tant qu'indicatrices de l'état de santé des écosystèmes (Aceto et al., 2003 ; Ah-Peng, 2003 ; Gombert et al., 2004; Leblond et al., 2004 ; Ah-Peng et Rausch de Traubenberg, 2005 ; Ah-Peng, 2007 ; Manneville et Fourier, 2011 ; Glime 2013 ; Asakawa et al., 2013).

3.7. Utilisation des bryophytes comme bio-indicateurs

Etant le réceptacle direct d'effluents industriels, recevant en plus les retombées atmosphériques et les pollutions diffuses provenant de sols contaminés, les systèmes aquatiques sont des milieux très exposés. Ces pollutions sont préjudiciables à l'équilibre écologique et présentent un risque environnemental et sanitaire.

La contamination de la biosphère en micropolluants métalliques est un fait admis dans les pays industrialisés. S'ajoutent à celle-ci, la pollution des milieux par des composés organiques répandus dans les écosystèmes par le biais de diverses sources (urbanisation, transport, agriculture intensive, industrie électrique...) ainsi que la présence d'éléments radioactifs (radionucléides) émis par les centrales et les accidents nucléaires.

Désormais, de plus en plus de micropolluants minéraux (cadmium, mercure, zinc...), de composés organiques (HAP, PCB...) et de radionucléides induisent une contamination

chronique d'un nombre croissant d'écosystèmes. Divers compartiments biologiques et physiques susceptibles d'accumuler les éléments traces métalliques ont été étudiés :

- les sédiments (André et Lascombe, 1985), qui par leur capacité de stockage des polluants présentent un danger pour les écosystèmes ;
- les plantes phanérogames : plante à graine, (Kovács, 1978; Kovács et Podani, 1986) ;
- les plantes cryptogames comme par exemple le lichen *Dermatocarpon luridum* (With.) Laundon (Chatenet et Botineau, 2001), *Xanthoria parietina* (Maatoug et al., 2010)

Cependant moins répandu que les bryophytes dont une dizaine d'espèces sont proposées comme espèces bio-indicatrices (Mouvet et al., 1986). Dans les années 1970, des études ont mis en évidence que certains végétaux accumulaient les éléments métalliques à de très fortes concentrations à proximité de sites miniers (Burton et Peterson, 1979 ; Dietz, 1976 ; Mc Lean et Jones, 1975 ; Whitton et Say, 1975). Cette propriété de bioaccumulation a suggéré l'utilisation des bryophytes pour la surveillance des métaux traces dans les écosystèmes (Empain, 1973).

La mise en évidence de la bioaccumulation de composés organiques par les bryophytes est plus récente, datant de 1981 (Frisque, 1981).

L'utilisation des bryophytes en tant que bio-indicateurs des écosystèmes et particulièrement des éléments traces métalliques dans la surveillance des écosystèmes n'a cessé de croître depuis les premiers essais d'Empain en Belgique en 1973. Les espèces servant à la bio-indication sont ainsi le reflet des environnements dans lesquelles elles se situent (Faburé, 2009 ; Foan, 2012, Vukovic et al., 2015).

D'après Lopez et al (1997) et Samecka-Cymerman et al (2000), ces organismes permettent d'obtenir une évaluation globale de la qualité environnementale du milieu (étude des réactions physiologiques liées au stress) et des concentrations environnementales de polluants particuliers (analyses des tissus). Cette dernière application est favorisée par le fait que de nombreuses bryophytes résistent à la toxicité de certains polluants (Frahm., 1976), et les accumulent dans leurs tissus ce qui en font de bons bio-indicateurs (Empain., 1988 ; Mouvet., 1979 ; Pickering et Puia., 1969).

Un polluant ou contaminant est un produit chimique qui existe à un niveau jugé comme étant supérieur à celui qui doit se trouver normalement dans n'importe quelle composante de l'environnement. Ainsi, pour des produits synthétisés par l'homme, tout niveau détectable est

considéré comme anormal. Pour les substances naturelles, comme par exemple, les cyanotoxines libérées lors d'un bloom de micro-algues, il sera difficile d'établir la normalité car leur concentration varie d'un lieu à un autre et en fonction du temps.

Un bio-indicateur biologique est défini plus précisément de la façon suivante :

« *Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques permet de façon pratique et sûre de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco-complexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées* » (Blandin., 1986).

Nous considérons ici deux types de bio-indication:

- l'étude des peuplements naturels, par la présence ou l'absence, la prolifération ou disparition d'espèces indicatrices renseigne sur la qualité globale du milieu. Cette approche ne sera pas développée dans cette synthèse
- l'étude des réponses physiologiques de certaines espèces indicatrices à des changements du milieu renseigne sur la qualité du milieu, de façon générale (études de la variation de la teneur en pigments, des réactions enzymatiques) et de façon précise (étude de la bioaccumulation des substances toxiques).

Ainsi de nombreuses études se sont succédées et ont mis en évidence la faculté des bryophytes à accumuler rapidement les polluants, particulièrement les métaux, et par conséquent à informer sur le niveau de contamination métallique.

On entendra par le terme de bioaccumulation, l'addition de deux phénomènes, l'adsorption des polluants à la surface de la plante et l'absorption, l'accumulation des polluants dans les cellules. Il est difficile de distinguer ces deux phénomènes lors d'une mesure de la concentration totale en un élément.

Ainsi, les bryophytes, en accumulant les polluants au niveau de leurs parois et dans leurs cellules, vont les rendre plus facilement détectables dans l'environnement (Lopez et Carballeira, 1993 ; Mouvet., 1984; Say et Whitton., 1983 ; Wehr et Whitton., 1983 ; Whittonet *al.*, 1982).

Les bryophytes possèdent les qualités suivantes en tant que bio-accumulateurs de polluants :

- elles n'ont pas de racines, ce qui les préserve de l'influence de leur substrat et leur permet de refléter uniquement la qualité de l'environnement en établissant un échange direct entre les feuilles et l'eau ; elles n'ont pas de système vasculaire, ce qui limite les transferts internes des polluants dans l'organisme ;
- elles se développent toute l'année et leurs peuplements sont très stables dans le temps et l'espace ; les espèces sont communes, abondantes et largement réparties géographiquement à travers le globe (Crum et Anderson, 1981 ; Smith, 1978).
- elles sont sédentaires, faculté utile dans les rivières, car retenues par leurs rhizoïdes à un support fixe (berges, pierres), ce qui permet d'étudier un site donné (Mouvet, 1986) ;
- elles résistent à de fortes concentrations en métaux et à des pollutions importantes. Elles possèdent une forte capacité d'accumulation des polluants : leurs facteurs de bioaccumulation sont souvent les plus élevés de tous les compartiments de l'écosystème aquatique en général (Mouvet, 1986) ;
- leur collecte, leur manipulation, leur transport et leur conservation sont aisés (les individus sont de taille réduite ce qui facilite l'échantillonnage)

Néanmoins le recours à ces organismes vivants, ne se restreint pas seulement à une mesure de pollution comme le font les analyses chimiques sur sédiments ou dans l'eau, cette méthode apporte des informations sur un potentiel de biodisponibilité du polluant dans l'écosystème, la fraction bio-disponible étant la part de la concentration totale d'un polluant à être captée par un organisme vivant. La fraction bio-disponible d'une substance est difficile à appréhender et peu prévisible. En plus de sa dispersion dans les différents compartiments de l'environnement, la fraction bio-disponible d'un polluant sera fonction de facteurs abiotiques (dégradation liée aux UV, aux processus chimiques...) et de facteurs biotiques (biodégradation par des microorganismes). Ainsi la bioaccumulation est le processus par lequel les organismes vivants accumulent des substances chimiques directement à partir de l'environnement (air, eau, sol) et de leur nutrition. La bioaccumulation diffère en fonction des organismes.

PARTIE II

Partie expérimentale

CHAPITRE I

Généralités sur la ville de Tiaret

1.1. Cadre géographique

Située au Nord Ouest du pays, la wilaya de Tiaret s'étend sur une superficie de 20.086,64 km². Elle se caractérise par un territoire constitué de zones montagneuses au Nord, de hautes plaines au centre et l'espace steppique au Sud, ce qui lui permet d'être une zone de contact entre le Nord et le Sud (ANDI, 2014).

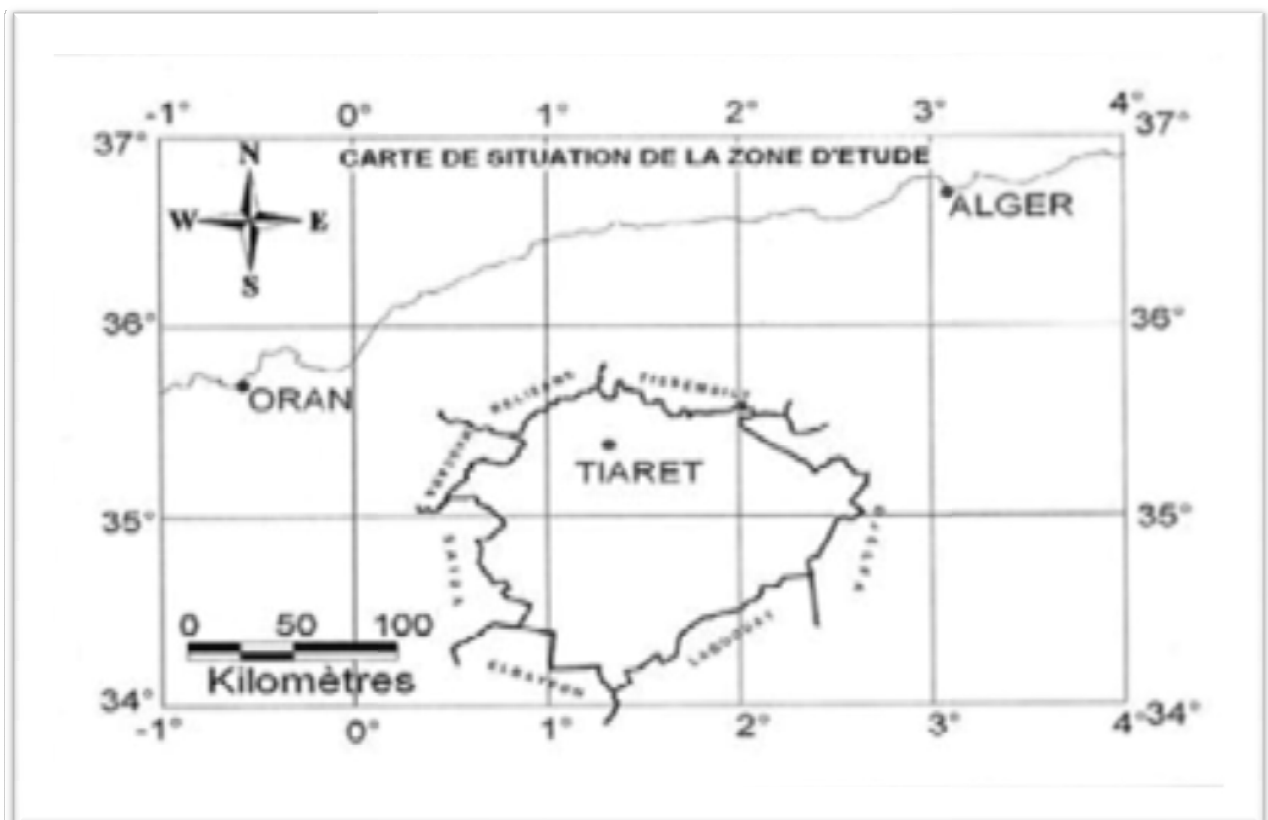
Délimitée par les coordonnées: Latitude: 35.35; Longitude: 1.43; elle s'étend sur une partie de l'Atlas tellien au Nord et sur les hauts plateaux au centre et au Sud, bornée par plusieurs wilayas (Fig. 08) à savoir:

La wilaya de Tissemsilt et Rélizaine au Nord;

La wilaya de Laghouat et El Bayadh au Sud;

La wilaya de Mascara et Saida à l'Ouest;

La wilaya de Djelfa à l'Est et Sud Est.



1.2. Cadre topographique

Sur le plan topographique, la wilaya de Tiaret se caractérise par deux grands ensembles morphologiques : l'Atlas Tellien et les hautes plaines, du Nord au Sud ; on distingue :

Une chaîne de piémont qui constitue le versant méridional de l'Ouarsenis ; le domaine tabulaire qui s'étend au pied de l'Ouarsenis appelé le plateau de Sersou.

Les monts de Frenda et les hauts plateaux qui représentent une vaste plaine regroupant la cuvette du chott Chergui à l'Ouest et le chaînon du Nord (ANDI, 2014).

1.3. Cadre climatique

La wilaya de Tiaret traverse, sur le plan climatologique, au cours de l'année deux périodes principales qui expriment le contraste important qui sévissent durant l'année, à savoir:

* Un hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige

* Un été chaud et très sec

1.3.1. Pluviométrie

La wilaya de Tiaret se situe entre les isohyètes 350mm au Sud et 470mm au Nord.

L'irrégularité saisonnière et la distribution annuelle des précipitations sont illustrées dans la figure 09.

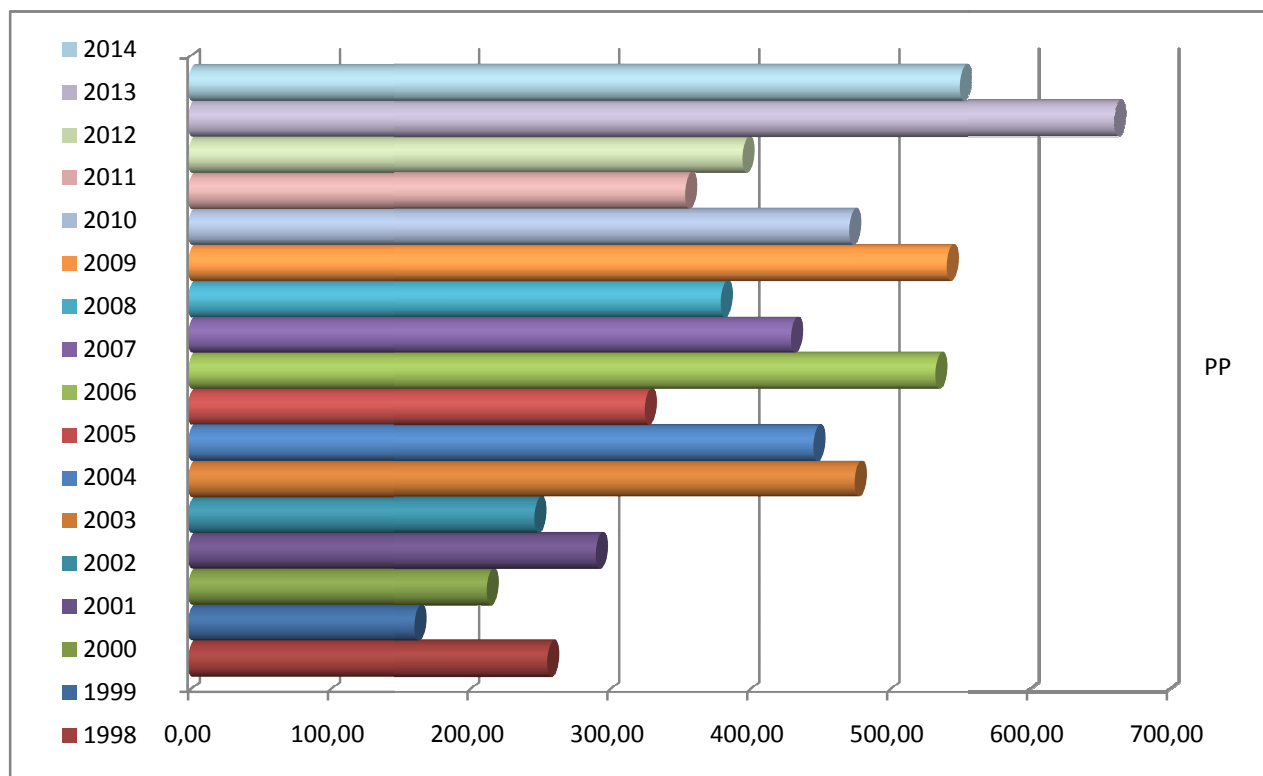


Figure 09 : Les précipitations interannuelles (mm) de la région de Tiaret entre 1998 et 2014

Source: www.tutiempo.net. Consulté le 15/01/2015.

Les précipitations oscillent, sur une période de 16 ans (1998-2014), entre un minimum de 162,57 mm et un maximum de 662,19 mm.

Les années les plus arrosées sont 2013, 2014, 2009 et 2006 avec respectivement: 662,19 mm ; 551,9 mm ; 542,54 mm et 534,41 mm.

1.3.2. Température

Intervenant directement dans les processus biologiques et chimiques de la biosphère ainsi que dans l'activité humaine, la température représente l'un des facteurs essentiels du climat.

En effet une élévation importante de la température engendre une évaporation des oueds, des rivières, des mers, limitant ainsi la biodégradation, c'est un facteur caractérisant le type de climat et déterminant du régime d'humidité. La moyenne des températures est résumée dans la figure 10

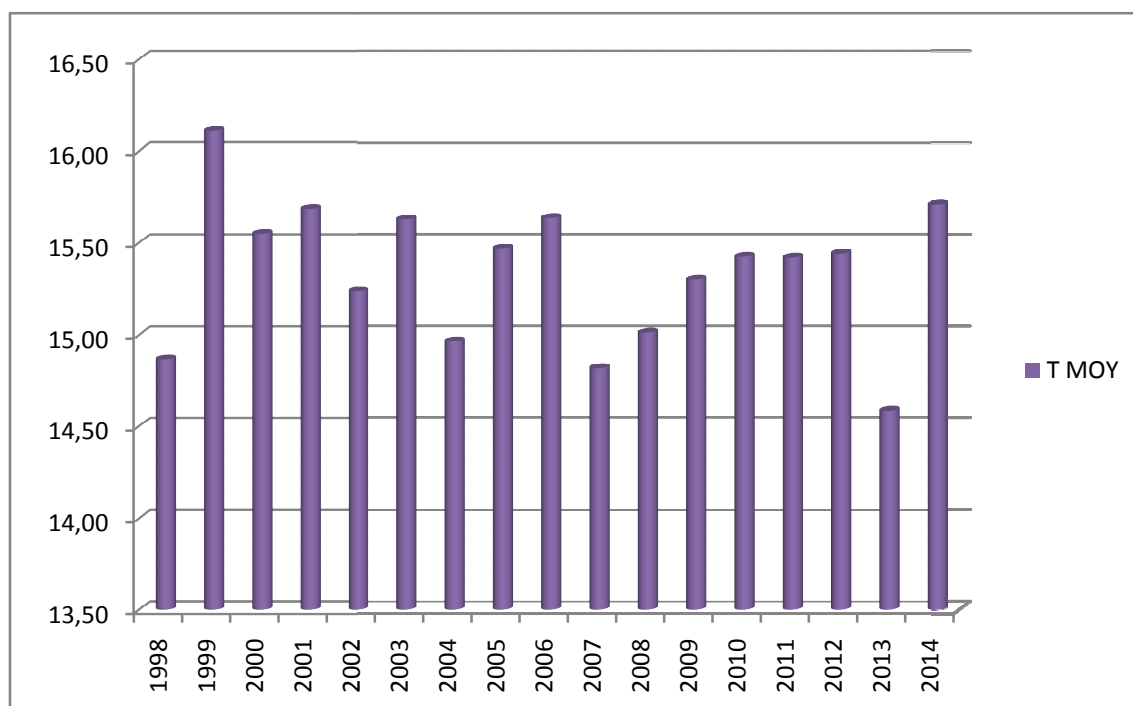


Figure 10 : Les températures moyennes interannuelles (°C) de la région de Tiaret entre 1998 et 2014. Source: www.tutiempo.net. Consulté le 15/01/2015.

La figure 10 relative aux températures moyennes interannuelles fait ressortir les observations suivantes:

Le maximum des températures est enregistré durant indique que le mois de Septembre de l'année 1999 est le plus chaud avec 38,3°C, le mois de Juillet durant les années 2009, 2010, 2003, 2012 et 2005 avec respectivement : 37,2°C, 36,9 °C; 36,8°C, 36,4 °C; 36,4°C ; ainsi que le mois d'Août de l'année 1999 avec 36,3°C.

Nous constatons pareillement que le mois de Janvier et Février de l'année 2005 sont les plus froids avec -3,2°C, -2,4°C, ainsi que le mois de Février qui à une température minimale de -3,2°C, suivit par le mois de Janvier de l'année 2000 et 2012 avec respectivement une température de -1,9°C ; 1,5°C, également l'année 2006 est froide durant les mois de Janvier et Février avec -0,8°C et -0,3°C.

1.4. Facteurs climatiques annexes

A côté de ces deux principaux facteurs climatiques, d'autres facteurs peuvent exercer une certaine influence sur les plantes, parmi les plus importants nous citons l'humidité relative, le vent et gelée.

1.4.1. Humidité

D'après le tableau 07, nous constatons que l'humidité relative moyenne annuelle est de 61,57%. Elle atteint son minimum durant le mois de Juillet, Août (inférieur à 40%).

Le maximum est enregistré dans le mois de Décembre, Janvier et Février avec une moyenne supérieur à 70%.

Tableau 07 : Humidité moyenne durant 2003-2014

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy	79,07	75,73	72,42	66,88	60,68	46,74	37,80	37,84	50,16	57,02	74,57	79,96

Source : www.tutiempo.net Consulté le 15/01/2015

1.4.2. Le Vent

Le vent possède un régime de déplacement variable en fonction de l'altitude, la pression atmosphérique et les saisons. C'est un facteur climatique qui entraîne des variations de températures et d'humidité et exercent une action mécanique et physiologique sur les arbres des forêts.

Tableau 08: Vitesse moyenne du vent durant 2003-2014

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy	18,56	17,96	17,64	14,82	11,98	11,86	11,48	10,64	11,17	10,73	16,78	14,82

Source : www.tutiempo.net Consulté le 15/01/2015

Les vents dominants sont ceux d'une direction Nord-Ouest, et les vents du Nord sont généralement frais, leur vitesse moyenne annuelle est de 14,04Km/h.

Les vents de direction Sud-Est et Est sont les moins fréquents.

La période estivale est caractérisée par le Siroco, qui vient de Sud ou Sud-Ouest C'est un facteur de propagation des incendies.

1.5. Synthèse climatique

1.5.1. Le diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Gaussen, nous permet de distinguer les différentes périodes climatiques au cours d'une année. L'échelle utilisée dans le diagramme consiste à doubler la valeur de la température par rapport à la pluviométrie ($p=2T$) (Ozenda, 1982).

Gaussen et Bagnouls considèrent que la saison sèche représente pour de nombreux pays la période critique de végétation, et par conséquent le facteur écologique principal d'après la loi des facteurs limitant (Ozenda, 1982).

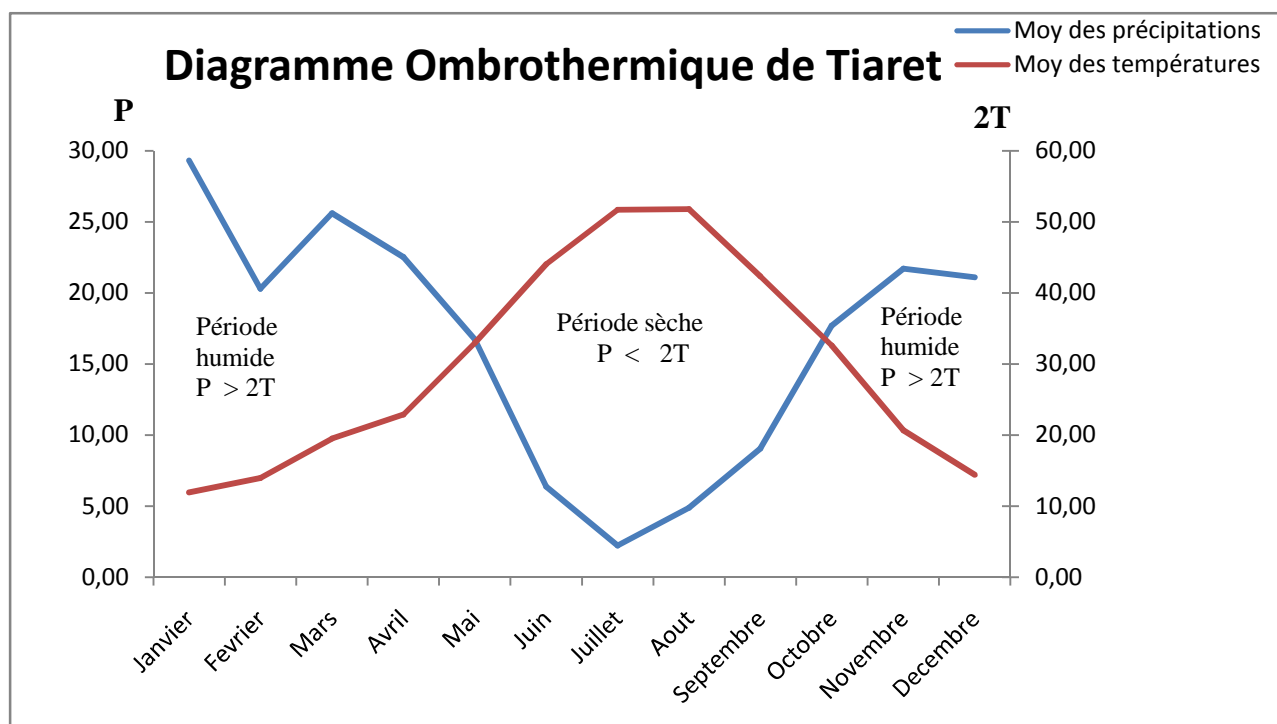


Figure 11: Diagramme Ombrothermique de Gaussen pour la région de Tiaret (Données climatique du 1998 au 2014)

La détermination de la période sèche de la zone d'étude est déduite directement de la courbe Ombrothermique (Fig. 11) ; elle est de l'ordre de cinq mois, qui va de mi-Mai jusqu'à mi-octobre, le reste des mois de l'année, constitue la période humide.

1.5.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Les températures et les précipitations sont interférences. Elles caractérisent le type de climat régnant dans une région donnée. La mesure de cette interférence conduit à l'établissement des

indices pluviométriques qui permettent la classification des différents climats (Dajoz, 1978 ; Ozenda, 1982 ; Ramade, 2003).

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est un indice pluviométrique propre à la région méditerranéenne (Ozenda, 1982 ; Ramade, 2003). Calculé par la formule suivante:

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Où :

Q₂ : 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;

D'après ces données climatiques et d'après le calcul du quotient pluviométrique d'EMBERGER qui est égale à 39,72. On arrive à dire que la wilaya de Tiaret se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Fig. 12).

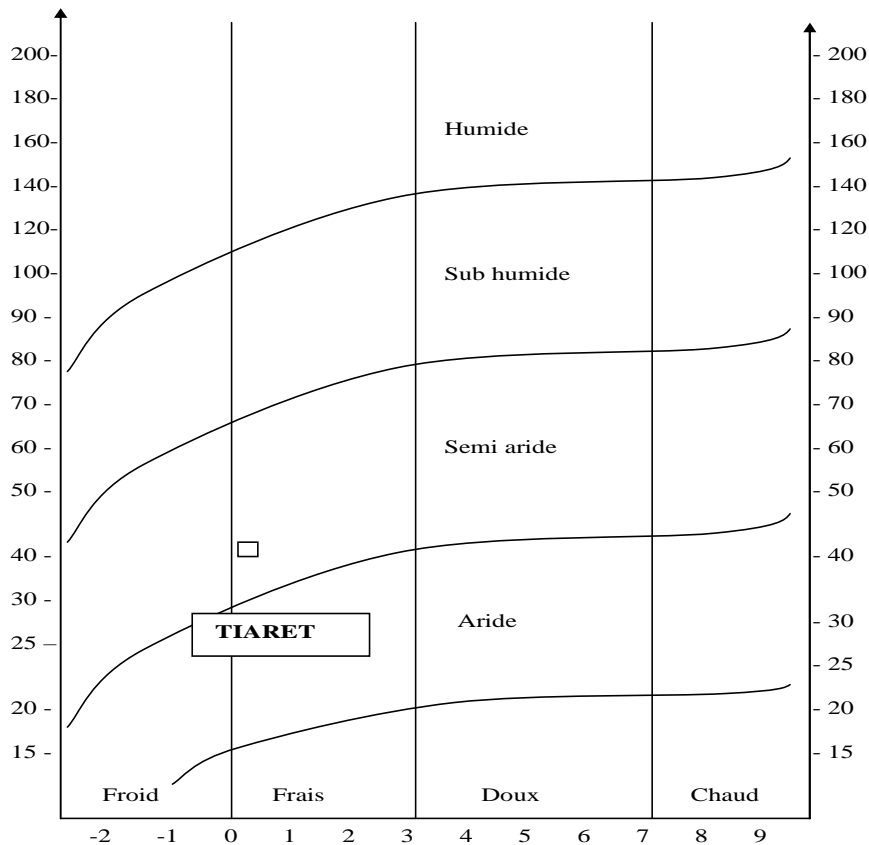


Figure 12: Diagramme d'EMBERGER

1.6. Végétation

La conservation des forêts de la wilaya de Tiaret gère un patrimoine forestier de 141.000 ha ainsi qu'une superficie de 332.938 ha de nappes alfatières sur une superficie steppique de 965.140 ha (Services des forêts de la wilaya de Tiaret, 2009).

Les principales forêts de la wilaya de Tiaret sont :

Forêt domaniale des zdamas chergui	44000 ha
Forêt domaniale des zdamas gharbi	37443 ha
Forêt domaniale de Tagdempt	4989 ha
Forêt domaniale de Béni affene	4018 ha
Forêt domaniale de Tiaret	508 ha
Forêt communale de Tiaret	279 ha
Forêt communale de Guertoufa	53 ha
Forêt sectionnale d'Azzouania	127 ha

Actuellement le patrimoine forestier de Tiaret est considéré comme moyennement boisé. L'espèce forestière la plus répandue est le chêne vert (*Quercus ilex*), qui constitue 60% du couvert végétal avec d'autres espèces comme le chêne liège qui occupe 20% dans un état très dégradé on a aussi pin d'Alep (*Pinus alepensis*), et le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*).

1.7. Réseau routier de la wilaya de Tiaret

Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain, sa longueur est de 112.039 km dont 29573 km de routes nationales. La wilaya de Tiaret quand à elle, se caractérise par un réseau routier important (Fig. 13), avec (Direction des travaux publique de Tiaret, 2013) :

- ◆ Routes nationales (RN) : 569 km
- ◆ Chemins de Wilaya (CW) : 708 km
- ◆ Chemins communaux (CC) : 1135 km

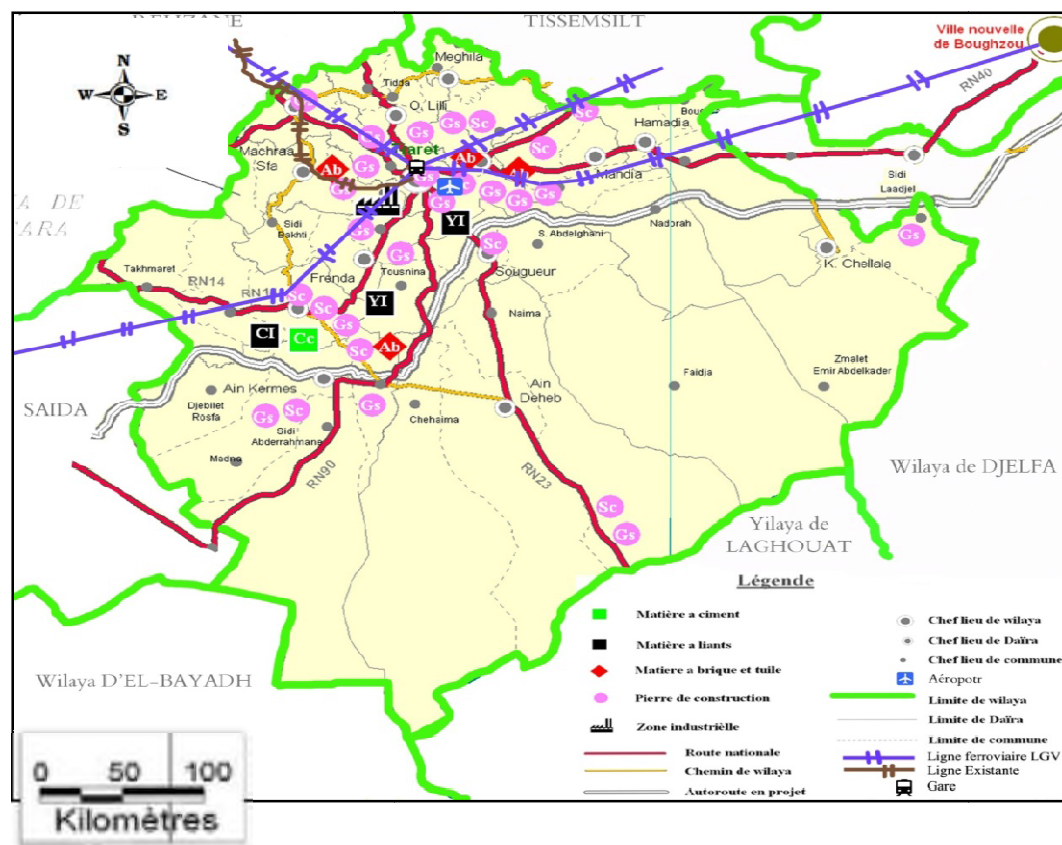


Figure 13: Carte du réseau routier de la wilaya de Tiaret (Direction des travaux publique de Tiaret, 2013).

1.8. Le parc automobile de la wilaya de Tiaret

Le transport représente un des piliers fondamentaux du développement durable et de la prospérité de tout pays. Des systèmes de transport efficaces et des réseaux modernes sont donc une nécessité pour le développement économique, le bien-être social, la production à grande échelle, et la préservation de l'environnement.

En Algérie, le secteur du transport connaît une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés où sont en phase de réalisation, afin de rendre ce secteur plus performant et plus efficace dans sa contribution dans le développement économique du pays.

Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain, sa longueur est de 112.039 km dont 29573 km de routes nationales, en effet ce réseau compte 5 123 705 véhicules en 2013 (ONS, 2015).

Le parc automobile de la wilaya est constitué de 64 325 véhicules, tous types confondus, en 2013 (ONS, 2015). En effet le parc de la wilaya de Tiaret est fortement hétérogène du fait de la variété des véhicules qui le constituent (véhicules particuliers ou utilitaire, essence ou diesel, récents ou âgés ...), sur ce total les véhicules de tourisme constitue 34 434 véhicules et

les véhicules âgés de plus de 20 ans représentent 55% (Fig. 14) (Services des cartes grises de la wilaya de Tiaret, 2015 ; ONS, 2015).

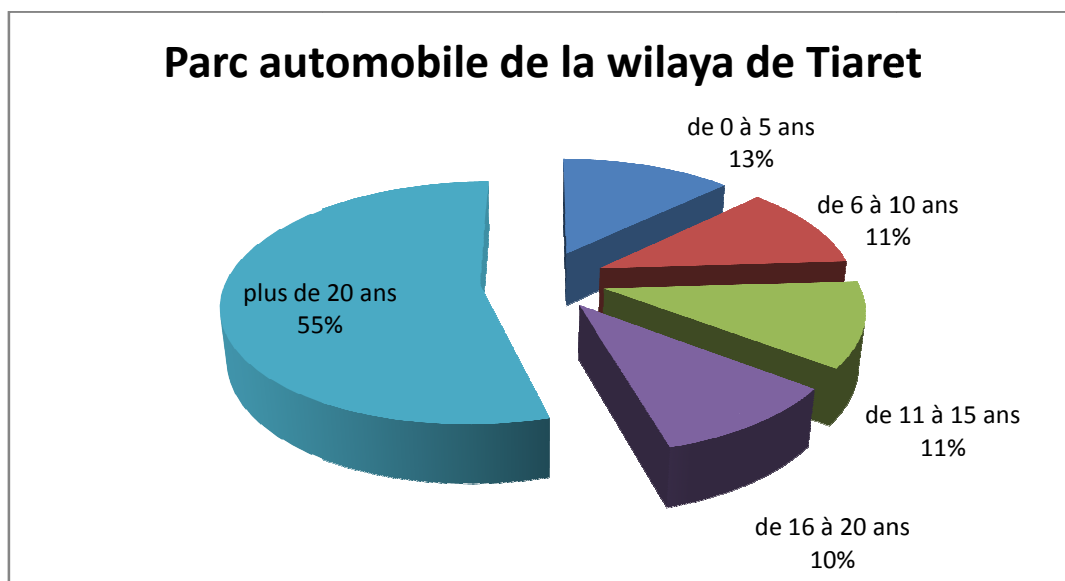


Figure 14: Répartition du parc automobile de la wilaya de Tiaret selon les classes d'âges (Services des cartes grises de la wilaya de Tiaret, 2015).

1.9. Présentation de la commune de Tiaret

La commune de Tiaret est le chef-lieu de la Wilaya, située au Sud-Ouest d'Alger à 340km. C'est une commune à caractère urbain car elle se compose d'une grosse agglomération chef-lieu et d'une zone éparsée, elle dispose de deux agglomérations secondaires: l'agglomération de Karman, située à l'est de la ville sur l'embranchement de la RN 14 qui mène vers Alger. L'agglomération d'Ain Mesbah, située au Sud sur la RN 23.

Statistiquement, l'agglomération chef-lieu de Tiaret se confond avec la commune puisque la zone éparsée représente 4% de la population globale de la commune. Elle a vu sa population quadruplée de 1966 à 1998 pour passer de 37990 à 167000 habitants répartis sur une superficie de 1227Km². Ce qui nous donne une densité de 136,10 hab /Km² et avec un taux d'accroissement de 3,66% (Période décennale 1977-1987) ce dernier a diminué, il a atteint 4,11% en 1998 (ONS, 1998).

* Limites de la commune de Tiaret sont

Au Nord les communes Oued Lili, Dahmouni et Guertoufa.

A l'Est les communes d'Ain Bouchekif

A l'Ouest la commune de Tagdemt

Au Sud celle de Mellako

1.10. Voies de communications

1.10.1. Consistance du réseau routier interne

La ville de Tiaret compte un réseau routier urbain très important, plus de 200 Km, son état est mauvais et cela est due principalement à la défektivité de certains réseaux, à la nature des sols et au relief accidenté qui constituent un facteur de dégradation de ce réseau.

Les actions engagées par la collectivité sur ses propres ressources pour faire les réparations nécessaires, se sont avérées inadéquates et très onéreuse eu égard à l'importance de ces dégradations et aux faibles moyens de la commune.

La ville de Tiaret est constituée par trois types de zones d'habitat, ces derniers qui définissent le type de voirie existant car le réseau urbain de Tiaret ne s'organise pas selon une hiérarchie spatiale et fonctionnelle (Boulevard principal, boulevard secondaire, voirie primaire, secondaire ...).

- **Zone d'habitat centre-ville:** ayant déjà eu des aménagements urbains de la voirie, assainissement, inscrits dans différents programmes de développement.
- **Zone d'habitat viabilisé:** mais dans l'achèvement des travaux ont rencontré des difficultés dues aux surcoûts.
- **Zone d'habitat précaire:** groupant un nombre d'habitation dans l'implantation ne permet pas à la collectivité d'aménager ces sites.

1.10.2. Le réseau routier externe

D'après la direction des travaux publics de Tiaret (2013), le chef-lieu de la commune de Tiaret est le carrefour de plusieurs voies de communications d'une importance nationale; mais dans l'état reste au demeurant moyen.

1.10.2.1. Les routes nationales

La ville de Tiaret est liée généralement par trois principaux axes de route (Fig. 15) qui sont :

- **La R.N -14:** cet axe relie Tiaret aux Wilayates de Saida et Mascara ainsi que Alger par Tissemsilt.
- **La R.N -23:** c'est un axe très important entre Tiaret et Relizane d'une part, d'autre part entre Tiaret et Aflou.
- **La R.N -90:** Un troisième axe très important reliant la commune au Nord par Oued Rhiou et au Sud à travers Ain Guessma.



Figure 15 : carte caractéristique des routes nationales de la wilaya de Tiaret (Urbatia, 2013)

1.10.2.2. Les chemins de la wilaya

Le réseau secondaire est généralement dans un état moyen. Il draine un volume de Trafic peu important par rapport au réseau primaire. On note trois Chemins de Wilaya (Urbatia, 2013):

- **CW -07**: D'une distance de 15 Kms, c'est le chemin de wilaya le plus important, car il relie Tiaret à Bouchekif.
- **CW-11**: Relie la Tiaret à sidi Hosni à l'Est, et à Mechraa Sfa à l'Ouest du PK 38 au PK 66. Ce chemin se caractérise par une longueur de 28 Kms.
- **CW-3** : De longueur de 5.5 Kms ce qui donne une longueur totale de 41.5 Kms.

1.10.2.3. Etat du réseau

L'état des réseaux routiers de la wilaya de Tiaret peut être classé en 03 catégories (AFT, 2001)

Mauvais état: 120 kms.

Etat moyen: 60 kms.

Bon état: 20 kms.

1.10.2.4. Les voies pénétrantes

Dans le cadre de l'aération du tissu urbain et solutionner le problème du trafic urbain

Un ensemble de voies pénétrantes a été réalisé récemment parmi lesquelles on cite :

P1 à double voie : Route D'Alger- Verial. (Voie d'évitement)

P4de longueur 1500m

P5.....de longueur 1100m

P6.....de longueur 1300m

P7.....de longueur 800m

P8.....de longueur 400m

P9.....de longueur 500m

P10 à double voie : Sonatiba –Antenne A.P.C.

Voie Teffah De longueur 700m et d'une largeur moyenne de 11 m (Urbatia ,2013).

1.11. Le parc automobile de la commune de Tiaret

Selon la direction de la planification et de l'Aménagement du territoire de Tiaret (2013), le parc automobile de la commune de Tiaret est constituée de 31178 véhicules (n'apparaissent pas les remorques et semi-remorques « véhicules tractés ») dont (Fig. 16) 63 % sont à essence et 37 % véhicules sont Gasoil.

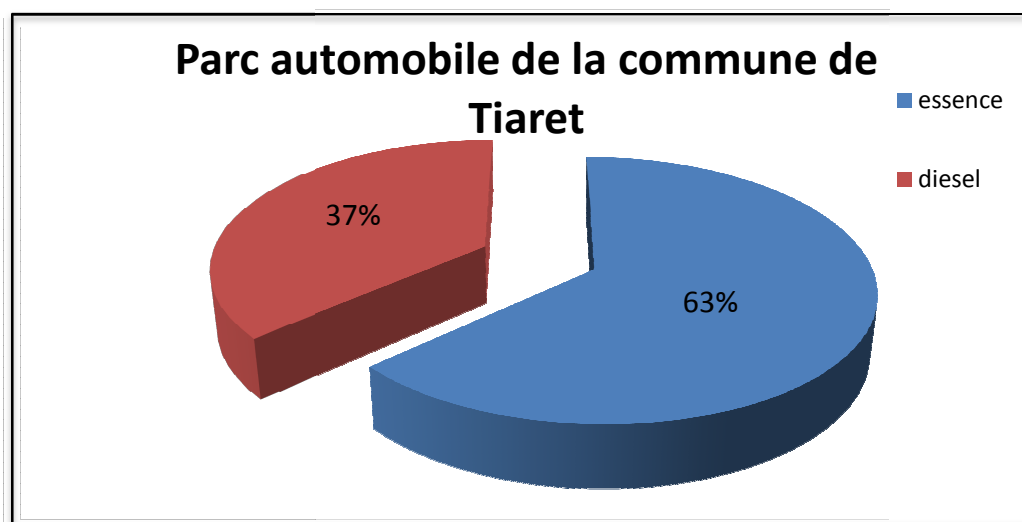


Figure 16: Parc automobile de la commune de Tiaret selon le type de carburant.

1.12. Stockage et distribution de carburants

1.12.1. Capacité de stockage installation intégrée de distribution

- ✓ Essence super4900 m³.
- ✓ Essence normal..... 9000 m³.
- ✓ Gasoil..... 21670 m³ (Naftal, 2013).

CHAPITRE II

Mise en place du protocole expérimental

Introduction

Dans le cadre général de la biosurveillance de la qualité de l'air, l'évaluation approximative de contamination aérienne par les polluants atmosphériques est testée par des méthodes biologiques afin de contrôler les émissions polluantes ou d'approfondir la connaissance des différents processus qui conduisent à la pollution atmosphérique.

Les méthodes qui peuvent servir à la réalisation d'une cartographie de concentrations en polluants, sur des zones où la couverture spatiale est restreinte, sont insuffisantes pour effectuer des interpolations fiables.

Les nouvelles stratégies prévoient justement une évaluation des teneurs en polluants atmosphériques sur l'ensemble du territoire étudié. Il en résulte un effort à fournir en termes de couverture, en particulier dans les zones urbaines qui sont dépourvues de stations de mesures automatiques sur nos villes.

Pour cette raison, nous cherchons à mettre au point la réalisation d'une cartographie de certaines polluants métalliques au moyen d'une méthode basée essentiellement sur l'utilisation des mousses comme bio-accumulateurs de ces éléments polluants, sur une zone urbaine, dans le but d'estimer la pollution atmosphérique sur cette dernière.

Cette étude, à pour but de formuler des recommandations d'application et de réaliser des cartes de concentrations en éléments métalliques (Pb, Zn et Cu).

Pour pouvoir faire la transplantation des mousses, nous avons choisi d'utiliser une méthode de transplantation des lichens décrits par (Semadi et Deruelle, 1993).

2.1. Techniques de transplantations de *Bryum argenteum*. Hedw

La première technique de transplantation a été mise au point par Brodo (1961). Elle consiste à greffer un disque d'écorce supportant un lichen sur un porophyte de même espèce. En absence d'arbres Schonbeck (1969) in Semadi et Deruelle (1993) propose de fixer les disques d'écorce sur des planches.

Nous estimons que la pose de transplants d'une zone non polluée à une zone polluée peut être interprétée comme un bio essai, puisque le matériel transplanté doit d'être standardiser. Cependant, les lichens transplantés ne pouvant être définis comme ayant poussé dans des conditions standardisées (la croissance ne s'effectuant pas en laboratoire)

La méthode la plus couramment utilisée est le dosage dans les feuilles des mousses prélevées sur le site d'étude (Deruelle, 1981 ; Maatoug *et al.*, 2010). Pour chaque zone concernée, des échantillons de mousses sont prélevés après quelques jours face à l'autoroute et à 1,3 m du sol.

Dans le cadre de la surveillance de l'air de la ville de Tiaret, nous avons suivie la méthode mis au point par Brodo (1961), qui consiste à transplanté des lichens originaire d'un site de références exempt de contamination dans des sites pollués ; cependant dans notre cas nous avons utilisés les mousses « *Bryum argenteum*.Hedw ».

Lors de la transplantation des règles d'implantation sont établies (hauteur, supports, distance aux axes routiers...). Ainsi, les sites de transplant doivent être placés à une distance maximale de tout trafic routier d'au moins 50 mètres.

Ils doivent être placés dans des sites où la circulation de l'air n'est pas entravée ; ils doivent aussi être situés entre 1.30 mètres du sol (Deruelle, 1981).

Une fois les mousses transplantées ne surtout pas oublier de prendre les coordonnées géographiques à savoir latitude et longitude et procédé à un codage des point qui sera le numéro de l'échantillon qu'il portera au laboratoire.

Lors de la transplantation nous prenons certaines précautions pour aboutir à de bon résultat, parmi lesquelles :

- Eviter de contaminer les mousses avant transplantation,
- Bien arrosé avant transplantation avec de l'eau déminéralisée,
- Manipuler avec des gants,
- Bien fixé la mousse,
- Prendre des repères pour ne pas perdre l'emplacement,
- Transplanter une quantité suffisante pour avoir une quantité suffisante de poids sec.



Figure 17: La mousse (*Bryum argenteum*.Hedw) transplantée dans la ville de Tiaret (Cliché Omar Yamina, 2013)

La durée de l'exposition est de 30 jours, pour minimiser toutes sortes de perturbations physiologiques des mousses transplantées

2.2. Choix du site de prélèvement de *Bryum argenteum*.Hedw

Le prélèvement consiste à prélever des échantillons de mousse *Bryum argenteum*.Hedw dans un milieu sain, là où on peut considérer le degré de pollution négligeable. Pour cela, nous avons choisi le parc national de Theniet El Had.

Theniet El Had est dans la wilaya de Tissemsilt situé à 106 km de la wilaya de Tiaret (Fig. 18) avec 3425 ha de superficie et une altitude de 1000 m jusqu'à son point culminant 1787m RAS EL BARET.



Figure 18 : Localisation du site de prélèvement par rapport à la ville de Tiaret

Ce site a été choisi pour la simple raison qu'il a les mêmes conditions écologiques que la ville de Tiaret ; de ce fait nos échantillons n'auront pas à subir de stress dû aux changements des conditions climatiques et aussi au fait que le parc est éloigné de toute source majeure de pollution donc nous aurons des échantillons dits sains. Et par ce que la réglementation demande à ce que le site de référence choisi soit en zones non urbaines.

Enfin, 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 le cas échéant au niveau de clairières. Nous avons choisis des zones non influencées par les ruissellements de troncs et prélever 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. Puis nous avons placé les échantillons dans des sachets en papiers étiquetés, puis fermer avec précaution pour éviter toute forme de contamination durant le transport.

La transplantation des mousses a été effectuée dans 60 sites, choisies dans la ville et dont l'emplacement, préalablement par un échantillonnage subjective, est déterminé par un GPS. A la fin de la période de transplantation certaines stations n'ont pas été comptabilisées à cause de la disparition du transplant (41 stations parmi 60 ont fait l'objet d'échantillonnage). La figure 19 montre la distribution des transplants dans la ville de Tiaret.

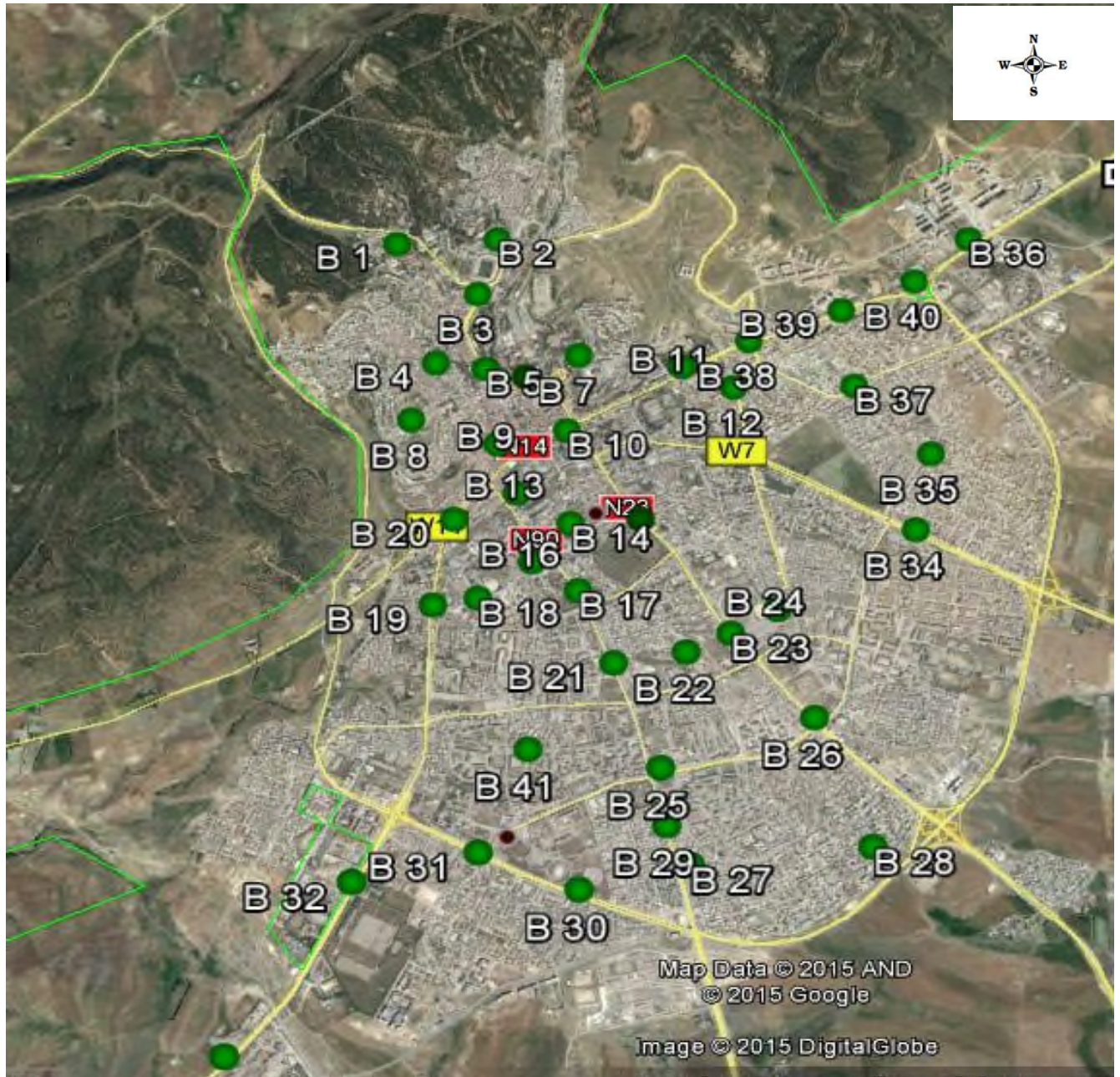


Figure 19: Localisation des transplants des mousses dans la ville de Tiaret

2.3. Choix de l'espèce

Les mousses sont des cryptogames qui prospèrent dans un climat humide. Ectohydriques, les mousses ont été utilisés comme bio-indicateurs, dans la plupart des cas, des éléments traces métalliques pour la pollution atmosphérique. Les mousses, de par leurs propriétés morphologiques et physiologiques, sont reconnues comme d'excellents capteurs des métaux atmosphériques (Onianwa 2001; Zechmeister et *al.*, 2003a).

L'emploi des mousses dans la biosurveillance de la qualité de l'air repose sur les caractéristiques suivantes (Tyler, 1990 ; Bates, 1992 ; Chakraborty et Paratkar, 2006)

1. L'absence de système racinaire et de tissus conducteurs développés fait du dépôt atmosphérique la principale source en eau et éléments "nutritifs". Le substrat a une influence minime dans la nutrition des mousses.
2. L'absence (ou le faible développement) de cuticule protectrice ainsi que la finesse des feuilles, qui ne contiennent souvent qu'une couche de cellules, facilitent la perméabilité des tissus à l'eau et aux minéraux, incluant les ions métalliques.
3. Les parois cellulaires contiennent de nombreux sites de fixation (ligands) chargés négativement qui vont efficacement capturer et retenir les cations métalliques.
5. Chez certaines espèces de mousses, il est possible de distinguer et de séparer les différentes pousses annuelles, facilitant ainsi la détermination de l'âge du brin et donc son temps d'exposition au dépôt.

D'autres avantages sont:

- * Taux de croissance lent permet d'accumuler les polluants sur une période de temps plus grande.
- * Pérennité.
- * Large distribution.
- * Facilité d'échantillonnage.

Pour l'accomplissement de notre investigation, nous avons opté pour l'utilisation de la mousse *Bryum argenteum*. Hedw (Fig. 20).

2.3.1. Systématique de *Bryum argenteum*. Hedw (Happe, 2012 ; Hejcman et al., 2014)

Règne : Plantae

Embranchement : Bryophyta

Classe : Bryopsida

Ordre : Bryales

Famille : Bryaceae

Espèce : *Bryum argenteum* Hedw

Le *Bryum argenteum*. Hedw est cosmopolite. C'est une mousse terricole, arénicole ou saxicole qui forme des coussinets denses (Boullard, 1997 ; Happe, 2012).

Cette mousse est l'une des quelques espèces de bryophytes qui peuvent être trouvés sur tous les continents (Fig. 20), elle est abondante depuis la plaine jusqu'à la limite des neiges (Stark et al., 2010 ; Hejcman et al., 2014).



Figure 20: La mousse *Bryum argenteum*.Hedw utilisée (Cliché Omar Yamina, 2014)

C'est une plante non ramifiée ou dichotome de 0,5 à 1,5 cm jusqu'à 3 cm de long (Fig. 21), *Bryum argenteum*.Hedw se présente sous la forme d'un gazon ras et dense. Ses feuilles ovoïdes se rétrécissent progressivement et se recouvrent partiellement comme les tuiles d'un

toit de telle manière que la tige feuillée prend l'aspect d'un chaton. Ses nervures dépassent à peine le milieu de la feuille. Les feuilles ressemblent à des coussinets blancs argentés par la présence de très nombreux poils hyalins ou de couleur toute verte dans les stations humides et ombragées.



a : Pied de *Bryum argenteum* ; b : Capsule ; c : Une feuille du gamétophyte d'u Bryum

Figure 21 : Pied et feuille de *Bryum argenteum*.Hedw (Boullard, 1997)

Elle présente également de nombreuses formes sur calcaire sec ou humide, sur le sable ou les graviers et entre les pavés des routes. Elle est Relativement insensible aux contraintes mécaniques (Jahns, 2007 ; Post et *al.*, 2011 ; Hejcman et *al.*, 2014).

L'espèce est connue pour sa grande tolérance aux éléments traces métalliques, en particulier le Cd, Pb, Ni et Zn (Shaw et Albright 1990 ; Aceto et *al.*, 2003 ; Sobovljević et *al.*, 2007 ; Hejcman et *al.*, 2014).

2.4. Choix du métal

En dehors de l'aspect toxicité, les éléments qui ont permis d'orienter le choix des métaux à étudiés 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 cuivre, le plomb et le zinc.

Élément très toxique, le plomb, est issue de la combustion des carburants contenant au plomb tétraéthyl et /ou du plomb tétraméthyl, il provient également, à un moindre degré, des substances anti-usure des lubrifiants (Malbreil, 1997). Le cuivre provient à 99,9% de l'usure des garnitures de freins, sa source est quasi unique, alors que le zinc a des sources plus variées. D'autre part le comportement chimique du zinc est très différent de celui des autres polluants car le zinc est un oligo-élément. Mais devient toxiques à fortes concentrations. Une surconsommation de zinc chez les plantes entraîne divers symptômes tels qu'un ralentissement de la croissance, des malformations des feuilles et des tiges, et une chlorose (tâches sombres sur les feuilles) (Kabata-Pendias, 1992).

2.5. Préparation des échantillons au laboratoire

La méthode utilisée pour le dosage des métaux, est celle du dosage dans les feuilles de mousses prélevées sur les sites de prospection. Au laboratoire, les feuilles récoltées, sans lavage préalable, ont fait l'objet des opérations suivantes (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 2004) :

- Les résidus de plantes et de particules de sol sont retirés manuellement. On aura besoin que des résidus de mousse (feuilles) pour la suite du travail.
- Les parties récupérées sont ensuite mis dans des creusets en porcelaine toujours étiqueté. 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 déshydratés.
- Ensuite vient l'étape du broyage est une opération qui 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. Nous avons utilisé le mortier en agate constitué de titane d'acier garantie sans métaux lourd pour éviter toutes contaminations.
- On procède à la pesé de 1g de chaque échantillon à l'aide de la balance électronique. La poudre obtenu est calciné dans un four dont la température est augmenté

progressivement jusqu'à 500°C pendant 2h. La calcination a pour but de détruire la matière organique bien avant la minéralisation.

- La minéralisation permet le retour des éléments sous forme inorganique. Pour cette étape on utilise 3 acides à savoir : l'acide fluorhydrique « HF », l'acide perchlorique « ClHO₄ » et l'acide nitrique « HNO₃ ». Après on procède à la filtration de nos échantillons. Les tubes sont complétés par 100 ml d'eau distillée.

Le dosage des métaux est réalisé par spectrométrie d'absorption atomique à flamme.

Il est important de souligner que nous avons utilisé des mousses témoins qui ont été récoltées dans un milieu sain, pour comparer ces résultats. En effet Cuny et Van Haluwyn (2003), ont indiqués que dans ce genre d'études, les échantillons témoins sont plus fiables et plus représentatifs que les valeurs normes.

CHAPITRE III

Résultats et Discussions

Nous avons trouvés intéressants de signaler que dans notre cas, comme avec la plupart des études de biosurveillance atmosphérique, les concentrations mesurées dans les mousses sont des concentrations totales qui ne tiennent pas compte de la localisation cellulaire des éléments. Le brin est considéré comme un système uniforme sans distinction des différents sites de fixation (Brown et Brumelis, 1996 ; Økland *et al.*, 1997 ; Økland *et al.*, 1999).

3.1. Etude de la variabilité des teneurs en métaux lourds dans la mousse *Bryum argenteum*.Hedw :

Les teneurs des métaux lourds (Pb, Cu et Zn), dans la mousse *Bryum argenteum*.Hedw, varient considérablement entre les différents sites de transplantation choisis pour cette étude.

Tableau 09 : Statistiques descriptives des teneurs en éléments traces métalliques (en $\mu\text{g/g}$) dans la mousse *Bryum argenteum* Hedw.

	N	Moyenne	Min	Max	1 ^{er} Quartile	3 ^{ème} Quartile	Ecart-type
teneurs en Pb ($\mu\text{g/g}$)	41	349,69	110,00	584,00	263,33	430,00	131,61
teneurs en Zn ($\mu\text{g/g}$)	41	779,43	280,00	1927,00	620,00	940,00	275,01
teneurs en Cu ($\mu\text{g/g}$)	41	179,26	40,00	350,00	110,00	250,00	83,34

L'examen du tableau 09 et la figure 22 a permet de constater une très forte accumulation du zinc dans *Bryum argenteum* Hedw avec une moyenne de $779,43 \pm 275,01 \mu\text{g/g}$. Nous percevons, également, une forte accumulation du plomb, avec une moyenne de $349,69 \pm 131,61 \mu\text{g/g}$ dans la mousse. En revanche, nous constatons une faible accumulation du cuivre dans la mousse, effectivement les teneurs sont en moyenne de $179,26 \pm 83,34 \mu\text{g/g}$.

En comparons ces valeurs avec celle du témoin, nous observons quelles sont au dessus de ce dernier avec une moyenne de $14,75 \pm 3,30 \mu\text{g/g}$, $39,75 \pm 7,84 \mu\text{g/g}$ et $14 \pm 2,94 \mu\text{g/g}$ respectivement pour le plomb, le zinc et le cuivre.

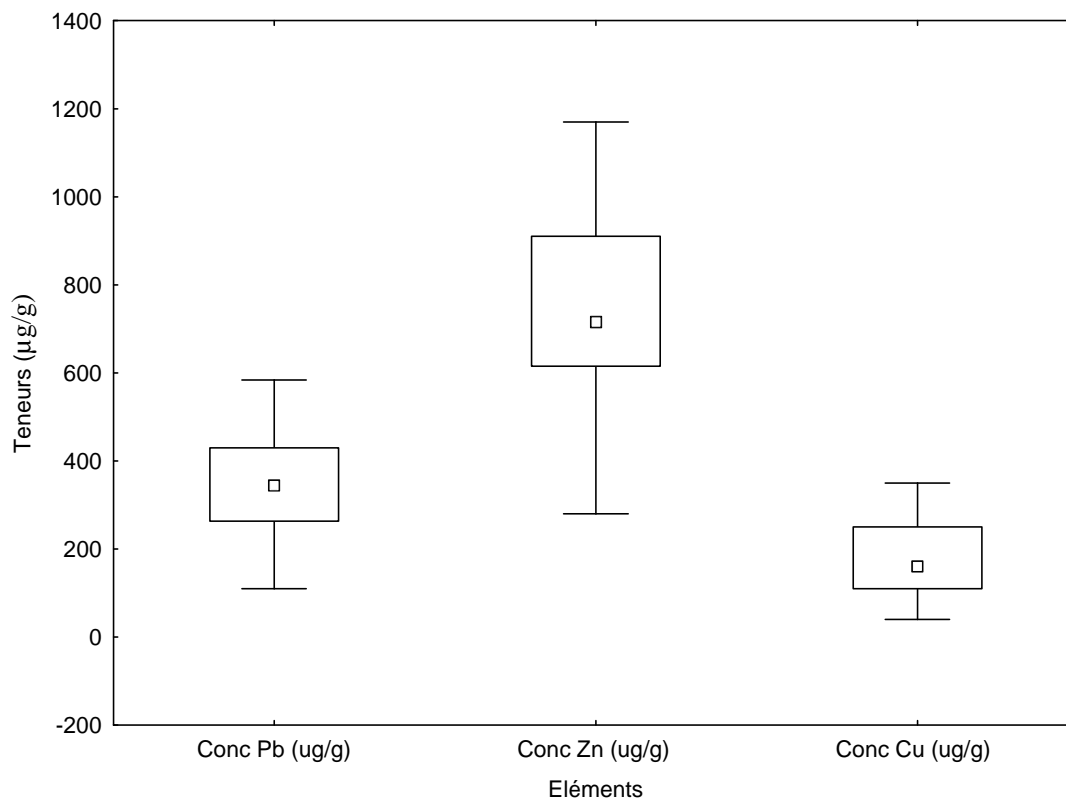


Figure 22 : Teneurs ($\mu\text{g/g}$) en éléments trace métalliques (Pb, Zn et Cu) dans la mousse *Bryum argenteum*. Hedw

Ce taux de pollution ne peut s'expliquer que par le fait que le parc automobile a connu une nette augmentation en effectif ces dernières années. En effet on est passé de 8581 véhicules dont 5084 sont des véhicules de tourisme en 2010 à 13 543 véhicules en 2013 avec 9705 véhicules de tourisme (ONS, 2015).

Les mousses absorbent directement l'eau et les éléments nutritifs, mais aussi les polluants présents dans les dépôts atmosphériques humides ou secs. De par l'absence de système racinaire et de cuticule bien développée, le substrat a peu d'influence sur les niveaux de contaminants dans leurs tissus, et le piégeage des polluants se fait très facilement (Rzepka et Cuny, 2008).

L'accumulation des polluants se fait principalement via des mécanismes d'échanges cationiques, avec une très faible résistance à la diffusion des éléments absorbés. L'architecture des mousses et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Amblard- Gross et *al.*, 2002 ; Fernandez et *al.*, 2002 ; Rzepka et Cuny, 2008). De plus, les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques

qu'elles accumulent, notamment aux éléments traces métalliques, ce qui en fait des organismes adéquats pour la biosurveillance de ceux-ci (Krommer et *al.*, 2007 ; Rzepka et Cuny, 2008).

3.2. Classes de la pollution de la zone d'investigation

3.2.1. Cas du plomb

Une classification automatique a été effectuée sur les 41 données observées dans la ville de Tiaret. Les résultats de cette classification sont illustrés dans la figure 23

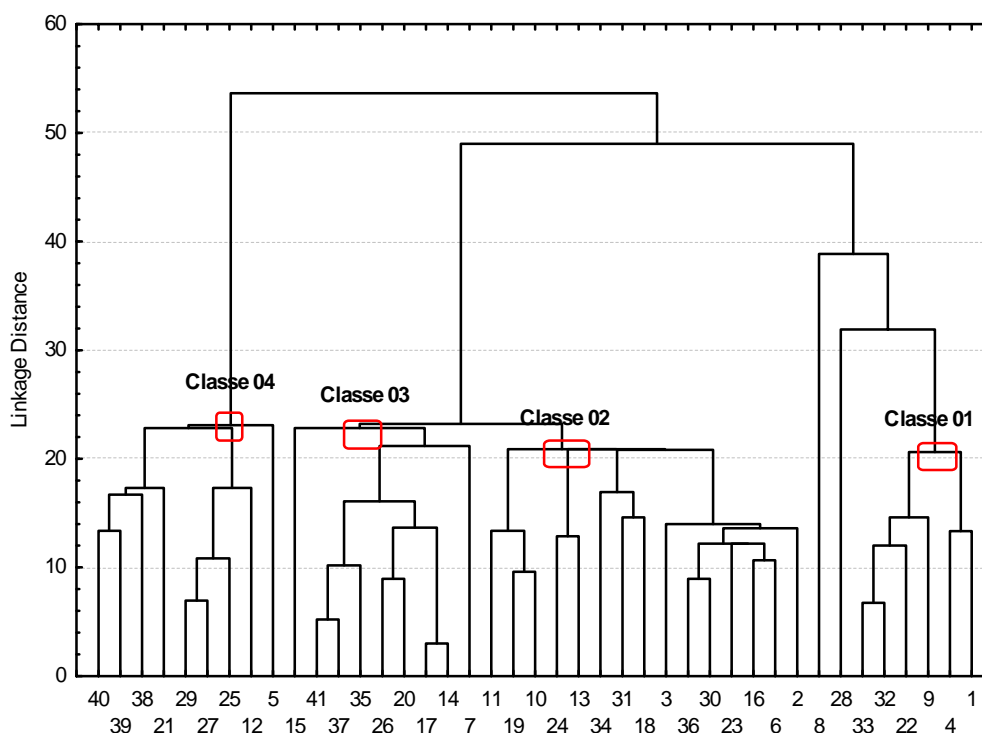


Figure 23: Classes de pollution du Plomb selon la classification automatique des teneurs en plomb ($\mu\text{g/g}$) pour la ville de Tiaret

La classification automatique a permis de ressortir quatre classes de pollution du plomb. Le tableau 10 représente des statistiques élémentaires de chaque classe

Tableau 10: Statistique descriptive des classes de pollution en plomb ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{ème} Quartile	Ecart-type
classe1	6	184,50	190	160,33	200	173,33	193,33	14,90
classe 2	15	376,42	370	320	443,33	343,33	406,67	37,92
classe 3	9	272,22	266,67	246,67	306,67	263,33	280	17,32
classe 4	9	543,78	546,67	496,67	584	516,67	566,67	30,41
Témoin	4	14,75	14,50	11	19	12,50	17	3,30

Nous constatons dans le tableau N° 10, que les valeurs moyennes des teneurs en plomb, pour l'ensemble des classes, oscillent de $543,78 \pm 30,41 \mu\text{g/g}$ à $184,50 \pm 14,90 \mu\text{g/g}$. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins ($14,75 \pm 3,30 \mu\text{g/g}$).

Les plus fortes concentrations sont enregistrées dans la classe 04 avec une moyenne de $543,78 \pm 30,41 \mu\text{g/g}$. Cette classe, regroupe les sites les plus pollués affectés d'un trafic très élevé à forte pente où la fréquence du freinage et du ralenti est très importante.

Les concentrations élevées en plomb enregistrées dans les sites de la 2^{ème} classe, sont en moyenne de $376,42 \pm 37,92 \mu\text{g/g}$, ce ci indique que le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds toxiques pour l'environnement.

En effet le plomb est issu des gaz d'échappement, de l'usure des garnitures de freins, des pneumatiques et de la corrosion des glissières de sécurité.

La classe 03 regroupe, d'une façon régressive, les sites où les émissions du plomb sont relativement moins importantes que les sites de la classe 02 et 04. Cette classe se caractérise par une moyenne de $272,22 \pm 17,32 \mu\text{g/g}$.

Les faibles concentrations sont aperçues dans la classe 01 avec $184,50 \pm 14,90 \mu\text{g/g}$ de moyenne, en effet, cette classe se situe dans un secteur routier relativement faible.

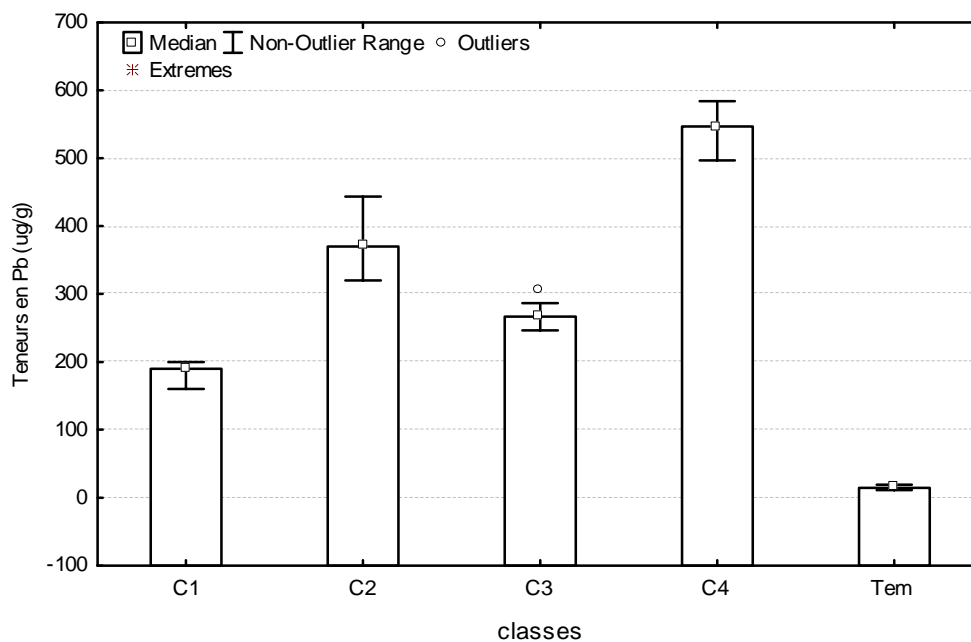


Figure 24: Teneurs en plomb dans les différentes classes de pollution

Nous observons, dans la figure 24, une forte concentration de plomb dans la classe 04 avec une moyenne de $543,78 \mu\text{g/g}$ et un maximum $584 \mu\text{g/g}$; ces valeurs sont largement au-dessus des sites témoins qui ont une moyenne de $14,75 \mu\text{g/g}$ et un maximum de $19 \mu\text{g/g}$. Cela signifie que cette classe est la classe la plus polluée par le plomb.

La classe 02, se caractérise par une moyenne de $376,42 \mu\text{g/g}$ et un maximum de $443,33 \mu\text{g/g}$, ces valeurs sont, de point de vue concentration, en dessous de la classe 04 et en dessus du témoin.

La classe 03 et 01, sont en dessous des classes : 04 et 02 mais largement en dessus du témoin, ces classes se caractérisent, respectivement par une moyenne de $272,22 \mu\text{g/g}$; $184,50 \mu\text{g/g}$ et un maximum de $306,67 \mu\text{g/g}$; $200 \mu\text{g/g}$.

3.2.2. Cas du zinc

Les résultats de la classification automatique effectuée sur les données observées dans la ville de Tiaret sont représentés dans la figure 25.

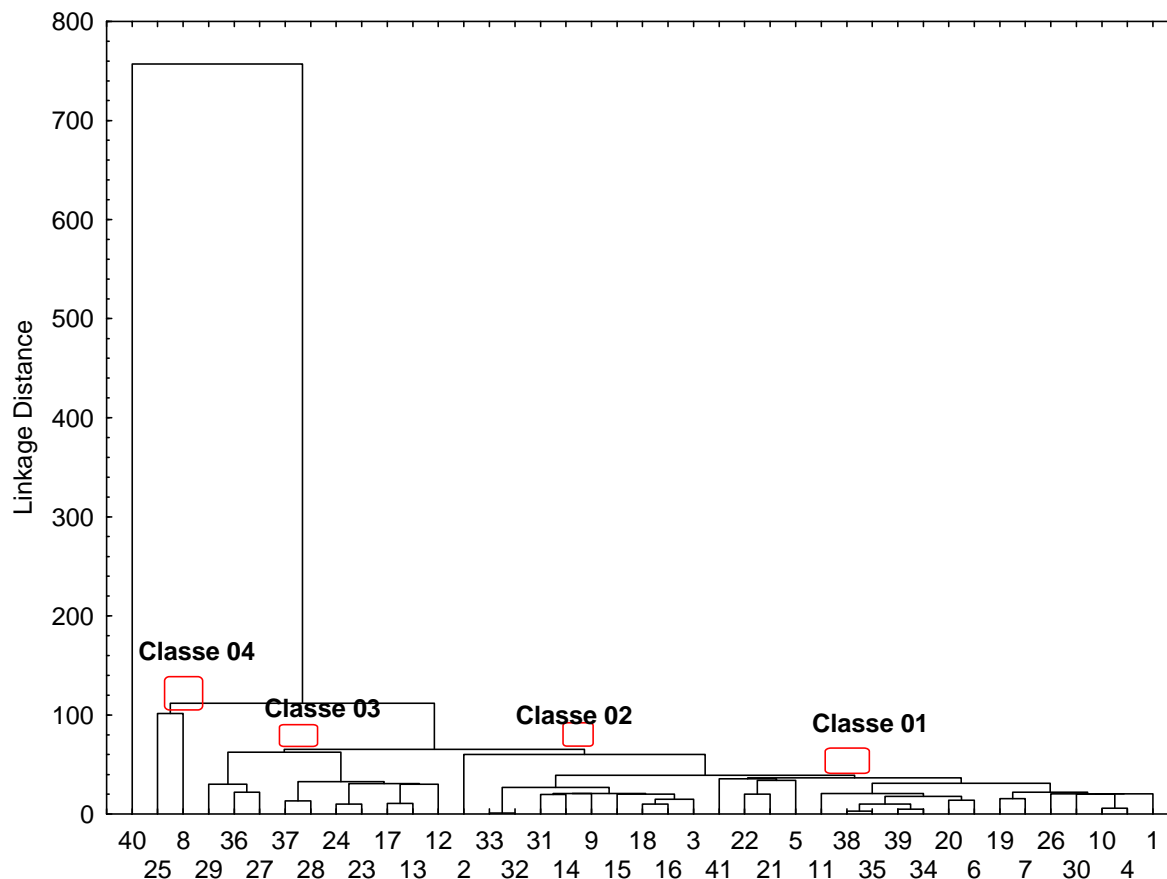


Figure 25 : Classes de pollution du Zinc selon la classification automatique des teneurs en zinc ($\mu\text{g/g}$) pour la ville de Tiaret

La classification automatique a permis de ressortir quatre classes de pollution en zinc. Le tableau 11 représente les statistiques élémentaires de chaque classe

Tableau 11: Statistique descriptive de classe de pollution par le zinc ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{ème} Quartile	Ecart-type
Classe 01	18	616,66	490,00	700,00	600,00	670,00	58,00
Classe 02	10	786,00	730,00	880,00	750,00	820,00	47,42
Classe 03	10	1041,00	940,00	1170,00	980,00	1120,00	81,98
Classe 04	2	330,00	280,00	380,00	280,00	380,00	70,71
Tem	4	39,75	31,00	50,00	34,50	45,00	7,84

En Analysant le tableau 11, nous constatons que les valeurs moyennes des teneurs en zinc, pour l'ensemble des classes, sont de $1041 \pm 81,98 \mu\text{g/g}$ à $330 \pm 70,71 \mu\text{g/g}$. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins qui sont de $39,75 \pm 7,84 \mu\text{g/g}$ de moyenne.

Les plus fortes concentrations en zinc sont enregistrées dans la classe 03 avec une moyenne de $1041 \pm 81,98 \mu\text{g/g}$. Cette classe rassemble les sites les plus pollués, en effet, ces sites sont affectés d'un trafic très élevé à forte pente où la fréquence du freinage et du ralenti est très importante.

La classe 2 conglomère les sites où les concentrations en zinc sont remarquablement élevées mais restent moins importantes que celles enregistrées dans la classe précédente. La moyenne enregistrée est de $786 \pm 47,42 \mu\text{g/g}$. Cela montre que le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds toxiques pour l'environnement.

La première classe regroupe les sites où les émissions du zinc sont relativement moins importantes que les sites de la classe 03 et 02. Cette classe se caractérise par une moyenne de $616,66 \pm 58 \mu\text{g/g}$.

Les faibles concentrations sont aperçues dans la classe 04 avec $330 \pm 70,71 \mu\text{g/g}$ de moyenne, en effet cette classe se situe dans un secteur routier relativement faible.

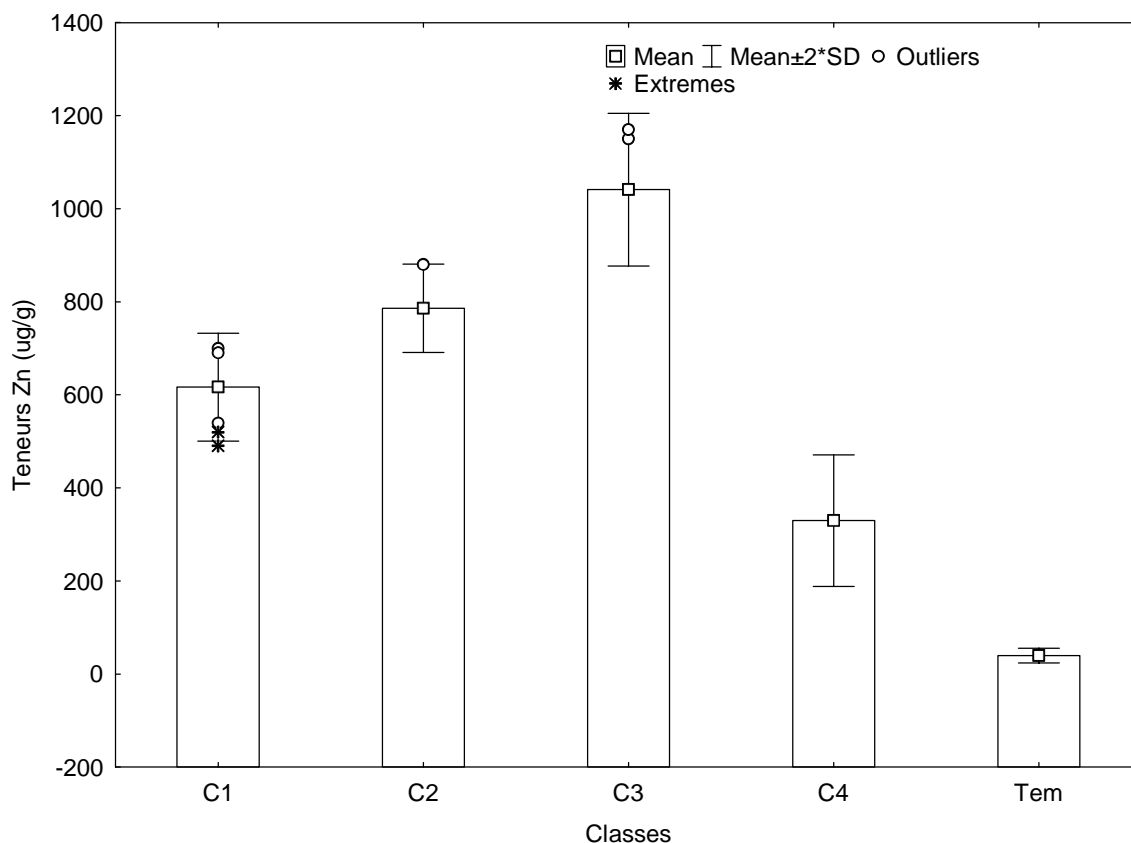


Figure 26 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution

L'examen de la figure 26 montre que les fortes concentrations en zinc sont notées dans la classe 03 avec une moyenne de 1041 $\mu\text{g/g}$ et un maximum 1170 $\mu\text{g/g}$; ces valeurs sont largement au-dessus des sites témoins qui ont une moyenne de 39,75 $\mu\text{g/g}$ et un maximum de 50 $\mu\text{g/g}$. Ceci indique que cette classe est la plus polluée par ce métal.

La classe 02 et 01, sont en dessous des classes 04 et 03 mais reste largement au dessus du témoin. Effectivement, ces classes se caractérisent par une moyenne, respectivement de 786 $\mu\text{g/g}$; 616,66 $\mu\text{g/g}$ et un maximum de 880 $\mu\text{g/g}$; 700 $\mu\text{g/g}$.

La classe 04, se définit par une moyenne de 330 $\mu\text{g/g}$ et un maximum de 380 $\mu\text{g/g}$, de point de vue concentration, cette classe est la moins polluée mais reste en dessus du témoin.

3.2.3. Cas du cuivre

La figure 27 illustre les résultats de la classification automatique effectuée sur les échantillons de *Bryum argenteum* Hedw récoltés dans la ville de Tiaret.

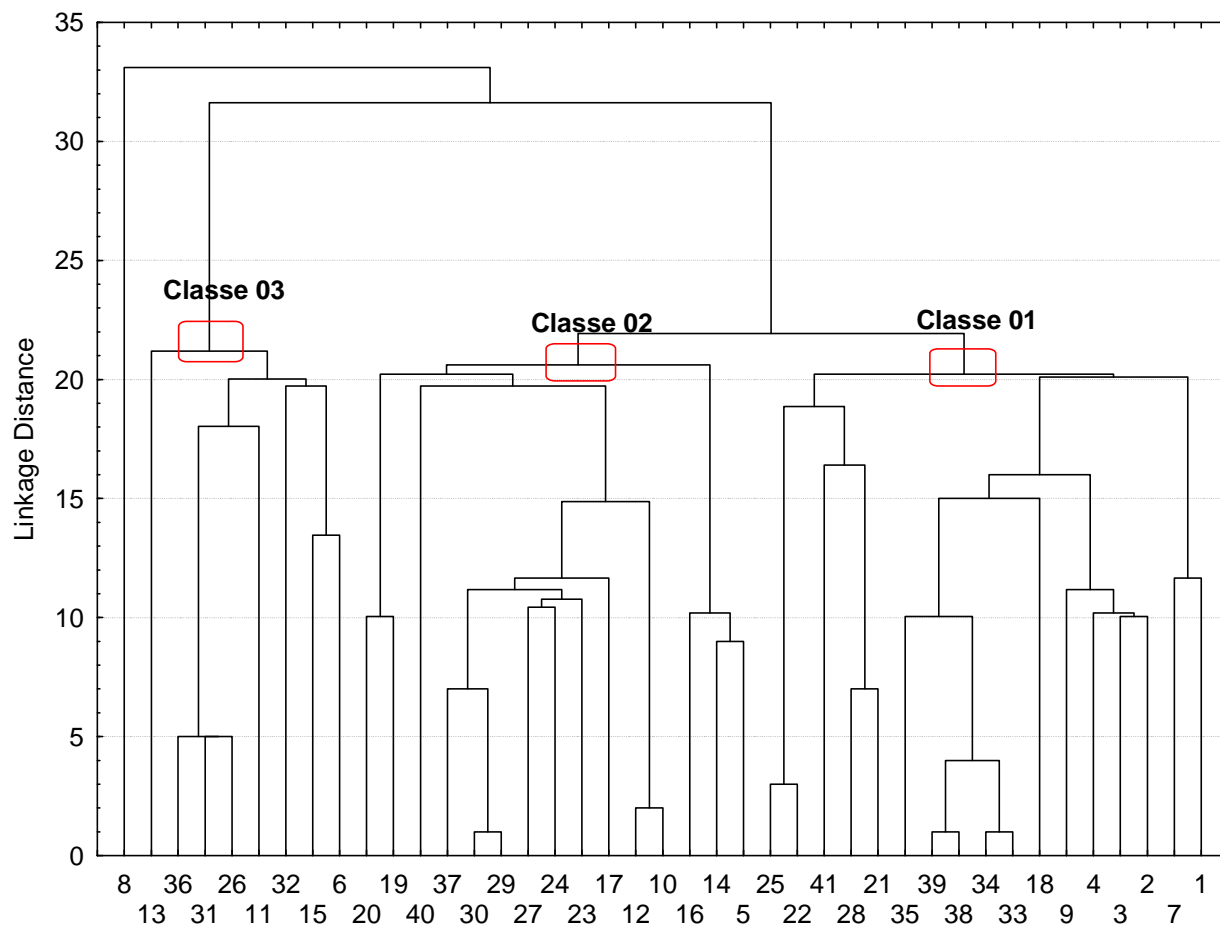


Figure 27 : Classes de pollution du Cuivre selon la classification automatique des teneurs en cuivre ($\mu\text{g/g}$) pour la ville de Tiaret

La classification automatique a permis de ressortir trois classes de pollution par le cuivre. Les statistiques élémentaires de chaque classe de pollution sont évoquées dans le tableau 12.

Tableau 12: Statistique descriptive de classe de pollution par le cuivre ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{eme} Quartile	Ecart-type
Classe 01	17	108,23	70,00	160,00	90,00	120,00	24,55
Classe 02	15	199,33	160,00	260,00	170,00	230,00	34,73
Classe 03	8	310,00	290,00	350,00	290,00	325,00	22,03
TEM	4	14,00	10,00	17,00	12,00	16,00	2,94

Les valeurs du cuivre exposées dans le tableau 12, sont en moyennes, pour l'ensemble des classes, de $310 \pm 22,03 \mu\text{g/g}$ à $108,23 \pm 24,55 \mu\text{g/g}$. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins qui ont une moyenne de $14 \pm 2,94 \mu\text{g/g}$.

La classe 03 réunit les plus fortes teneurs en cuivre. En effet, dans cette classe nous enregistrons une moyenne de $310 \pm 22,03 \mu\text{g/g}$. Ce site regroupe les sites les plus pollués.

Alors que la classe 02 conglomère les sites où les concentrations en cuivre sont moins élevées que dans les sites de la 3^{ème} classe. Cette classe se caractérise par une moyenne de $199,33 \pm 34,73 \mu\text{g/g}$.

Par contre les faibles concentrations en cuivre sont perçues la classe 01 avec $108,23 \pm 24,55 \mu\text{g/g}$ de moyenne.

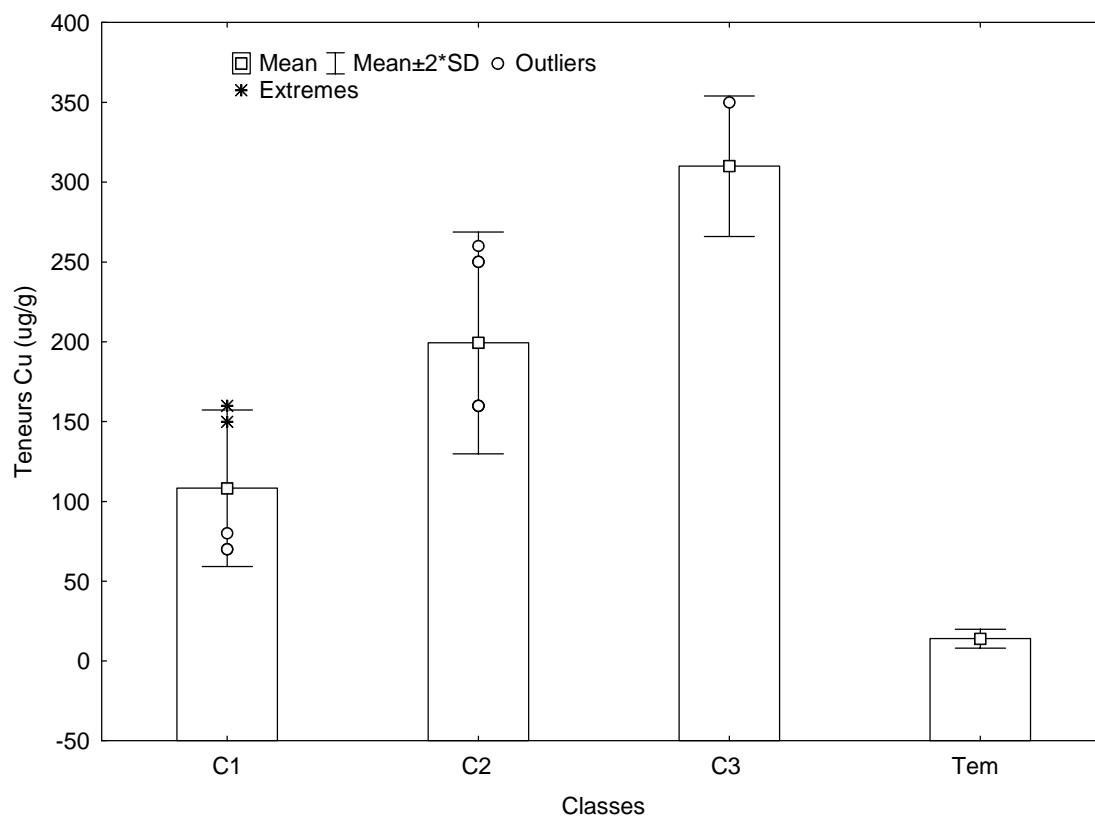


Figure 28 : Teneurs en cuivre ($\mu\text{g/g}$) au sein des différentes classes de pollution

Nous constatons, dans la figure 28, que les fortes concentrations du cuivre sont enregistrées dans la classe 03 avec un maximum 350 $\mu\text{g/g}$ et une moyenne de 310 $\mu\text{g/g}$; ces valeurs sont largement au dessus du site témoin qui à une moyenne de 14 $\mu\text{g/g}$ et un maximum de 17 $\mu\text{g/g}$.

Tandis que la classe 02 se caractérise par un maximum de 260 $\mu\text{g/g}$ et une moyenne de 199,33 $\mu\text{g/g}$.

Or la classe 01 définit les sites où les concentrations en cuivre sont faibles mais reste largement au dessus des concentrations témoin. Cette classe se caractérise par un maximum de 160 $\mu\text{g/g}$ et une moyenne de 108,23 $\mu\text{g/g}$.

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier ont deux origines : les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'abrasion et à la corrosion des matériaux constitutifs du véhicule et en d'autre partie à l'utilisation de différents fluides (huiles, etc.). Le trafic et les infrastructures routières sont à l'origine d'une source importante en métaux lourds dans l'environnement (Delmas-Gadras, 2000).

L'entrée du plomb dans la fabrication des batteries et les carburants ont fait que les concentrations atmosphériques ont augmenté de façon considérable (Rhue et *al.*, 1992). L'utilisation de plomb dans l'essence est cependant encore courante dans les pays en développement (Menkes et Fawcett, 1997). Ainsi, le plomb est le métal ayant connu la plus grande dispersion d'origine anthropique à l'échelle du globe (Rhue et *al.*, 1992).

En Algérie, l'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/l (Semadi et Deruelle ; 1993). Le plomb atmosphérique, issue du trafic routier, est dû entre autre à la consommation des carburants par les véhicules. Ce plomb est rejeté dans l'air sous forme d'aérosols à un taux de 75 % (Deletraz : 2002).

Le zinc est également présent dans les pneumatiques, les lubrifiants et surtout dans les glissières de sécurité (Deletraz, 2002). Tandis que les freins constituent une importante source de cuivre.

Les végétaux sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussières (Ozenda, 1982). De nombreuses études ont mis en évidence la capacité des mousses à capturer et à retenir de nombreux éléments. Effectivement ces dernières ont permis de renseigner l'efficacité de capture des éléments par le brin de mousse (Rühling et Tyler, 1970 ; Gjengedal et Steinnes, 1990 ; Bargagli et *al.*, 2002 ; Aceto et *al.*, 2003 ; Chakrabrtty et *al.*, 2006 ; Harmens et *al.*, 2011 ; Salo et *al.*, 2012 ; Agnan, 2013 ; Glime, 2013 ; Vukovic et *al.*, 2015).

De par l'absence de système racinaire et de cuticule bien développée, les mousses absorbent directement l'eau et les éléments nutritifs, mais aussi les polluants présents dans les dépôts atmosphériques humides ou secs. Le dépôt des éléments traces métalliques se fait soit sur la surface des mousses sur les brins soit à l'intérieur même des mousses au niveau des tissus. L'accumulation de ces éléments est facilitée par le grand rapport surface/volume des tissus de

mousse (Harmens et *al.*, 2011). Rzepka et Cuny (2008) révèlent que le substrat à peu d'influence sur les niveaux de contaminants dans leurs tissus.

Effectivement, l'accumulation des polluants se fait principalement via des mécanismes d'échanges cationiques, avec une très faible résistance à la diffusion des éléments absorbés. L'architecture des mousses et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Amblard- Gross et *al.*, 2002 ; Fernandez et *al.*, 2002 ; Rzepka et Cuny, 2008).

De même Brown et Buck (1985) in Glime (2013) trouvaient que le K^+ réside dans le cytosol of *Grimmia donniana* et *Calliergonelle cuspidata*, tandis que Ca^{++} et Pb^{++} étaient sous une forme extracellulaire échangeable. Mg^{++} et le Zn^{++} semblaient avoir un comportement intermédiaire avec la position au sein des espèces et la concentration totale des éléments. De plus, les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent, notamment aux éléments traces métalliques, ce qui en fait des organismes adéquats pour la biosurveillance de ceux-ci (Krommer et *al.*, 2007 ; Rzepka et Cuny, 2008).

L'utilisation des mousses *Bryum argenteum*.Hedw, dans la quantification des éléments traces métalliques émis par les véhicules, a révélé des résultats très intéressants.

En effet nous relevons une variabilité des teneurs en plomb, zinc et cuivre dans l'ensemble des sites dans la ville de Tiaret. Les sites où la concentration métaux lourds (Pb, Zn et Cu) est très élevée, connaissent un embouteillage important et du coup une libération plus intense des gaz d'échappement ce qui entraîne un degré très élevé de pollution. Nous discernons aussi que ces sites se localisent dans une zone montagneuse, effectivement, les zones montagneuses sont affectées d'une pente relativement forte et d'un trafic routier très important, la pente oblige le moteur à développer plus de puissance et à rejeter plus de polluants, elle entraîne donc une augmentation considérable des émissions (Madany et *al.*, 1990). La fréquentation et la présence de pentes dans le réseau routier urbain sont à l'origine de la forte variabilité des concentrations de plomb entre les différentes stations (Joumard et *al.*, 1995).

Les sites où la pollution par les métaux lourds (Pb, Zn et Cu) est moyenne, sont des stations qui possèdent une bonne aération. En effet, ces sites sont assez ouverts, favorisant la dispersion de retombées atmosphériques qui sont transportées par le vent. Ceci rejoint les

travaux de Diop et Sagna (2011), Sivertsen (2011) où ils relevaient que les quartiers exposés aux vents sont moins pollués que d'autres.

Les zones les moins polluées se caractérisent par une circulation moins importante que les autres stations.

Suites aux résultats obtenus, nous pouvons affirmer la possibilité d'utilisation de *Bryum argenteum*. Hedw comme espèce bioaccumulatrice des éléments traces métalliques. En effet, Aceto et al (2003) soulignaient la possibilité d'utiliser l'espèce *Bryum argenteum*. Hedw comme indicatrice de la pollution due aux éléments traces métalliques dans la ville de Piedmont en Italie.

Ces résultats sont cohérents avec ceux trouvés par Bargagli et al (1995 ; 1998; 2002) et ceux d'Agnan (2013), où ils ont constaté que les mousses sont généralement tolérantes aux polluants atmosphériques. En effet, le ratio élevé surface-masse volume des mousses est efficace pour piéger les particules en suspension.

De même que Vukovic et al (2015), trouvaient une corrélation significative entre la mousse et l'intensité du trafic routier. Ces auteurs supposaient que l'enrichissement des mousses par les particules est principalement dû à la pollution liée à la circulation automobile.

D'après Rzepka et Cuny (2008), des travaux plus récents ont montré que la morphologie de la mousse est très importante par rapport à la granulométrie des particules. En effet, les mousses pleurocarpes sont généralement disposées à plat, entremêlées et très ramifiées. A cause de leur nature ectohydrique, elles piègent les éléments et nutriments directement à partir des dépôts secs et grossiers. Au contraire, les mousses acrocarpes sont le plus souvent dressées, touffues et peu ramifiées. Bien qu'ectohydriques, elles sont plus tolérantes à une sécheresse prolongée que les pleurocarpes, et sont capables de survivre dans des environnements relativement hostiles (en bord des routes, près des usines, ou en ville).

3.3. Cartographie

Le principe majeur de la cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace réel. Ceci se fait par une prise d'informations sur le terrain, avec deux champs distincts et majeurs

- le relevé des contours et de l'espace support à représenter ;
- le relevé des données statistiques à représenter sur cet espace ayant pour objectif la simplification et la meilleure compréhension des phénomènes (environnementale, politiques, économiques, sociaux, etc.) qui y sont à l'œuvre.

Les cartes de la pollution du plomb, zinc et du cuivre dans la ville de Tiaret, ont été réalisées par la méthode automatique, interpolation / extrapolation des données in situ de pollution connaissant la mesure de concentration de polluants à certains points à l'aide des logiciels MapInfo© et Vertical mapperTM. Les coordonnées géographiques, de chaque observation, ont été obtenues par un GPS.

3.3.1. Carte de pollution atmosphérique par le plomb

La figure ci-dessous (Fig. 29) représente la carte de pollution plombique dans la ville de Tiaret.

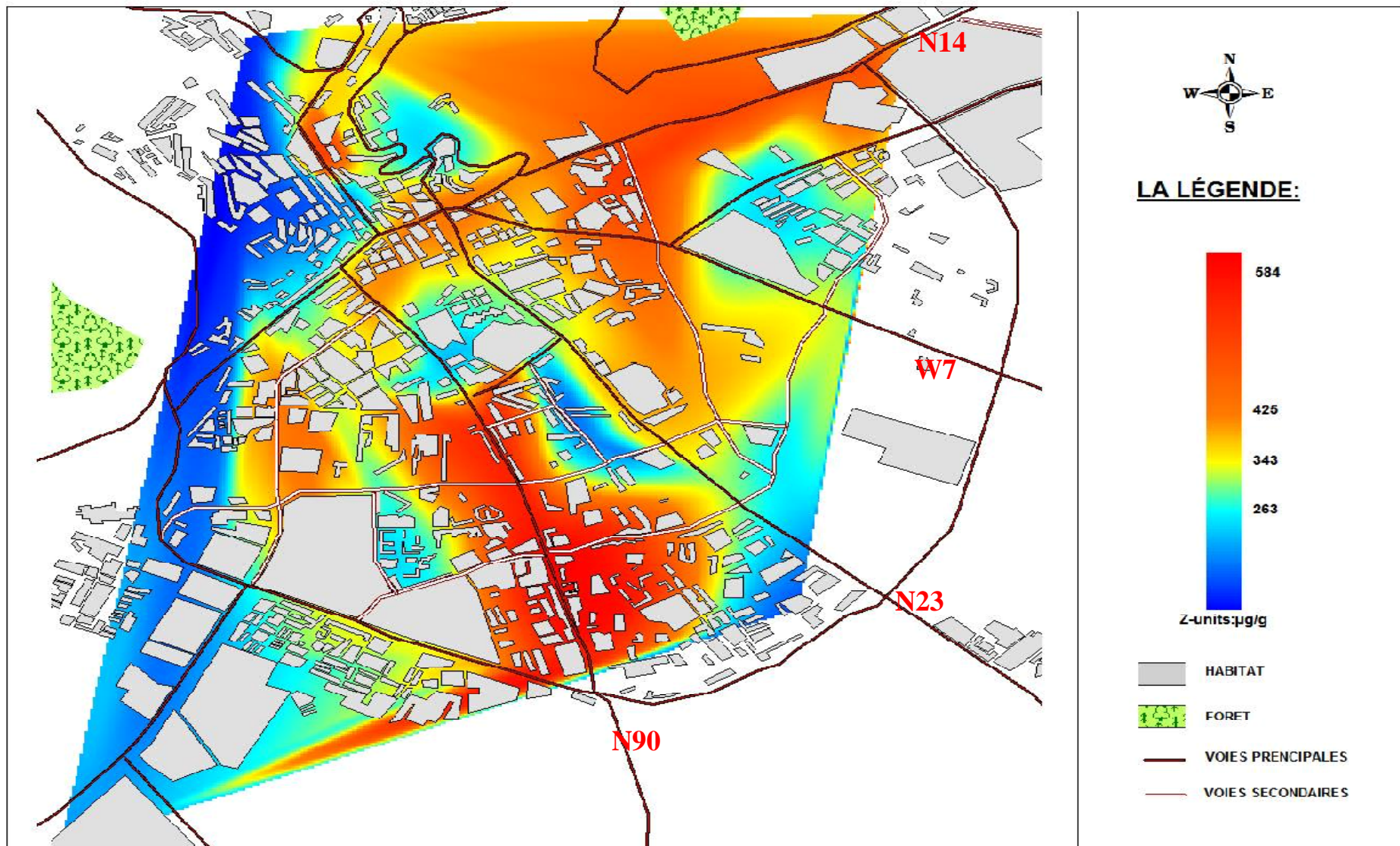


Figure 29 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).

En analysant la carte de la pollution atmosphérique par le plomb (Figure 29), nous constatons la dominance de la couleur rouge, sachant que cette dernière indique la présence d'une pollution très élevée avec une moyenne de $543,78 \pm 30,41 \mu\text{g/g}$. Cette couleur regroupe les stations localisées dans le Nord – Est, le centre et le Sud de la ville de Tiaret.

Nous observons également, la dégradation de la couleur orange clair qui représente une pollution élevée avec en moyenne de $376,42 \pm 37,92 \mu\text{g/g}$.

Les zones représentées par la couleur bleue turquoise sont caractérisées par une pollution moyenne avec $272,22 \pm 17,32 \mu\text{g/g}$ de moyenne.

Par contre, les stations de la couleur bleue foncée sont marquées par une pollution faible avec $184,50 \pm 14,90 \mu\text{g/g}$.

3.3.2. Carte de pollution atmosphérique par le Zinc

La figure 30 illustre la carte de pollution atmosphérique par le zinc dans la ville de Tiaret.

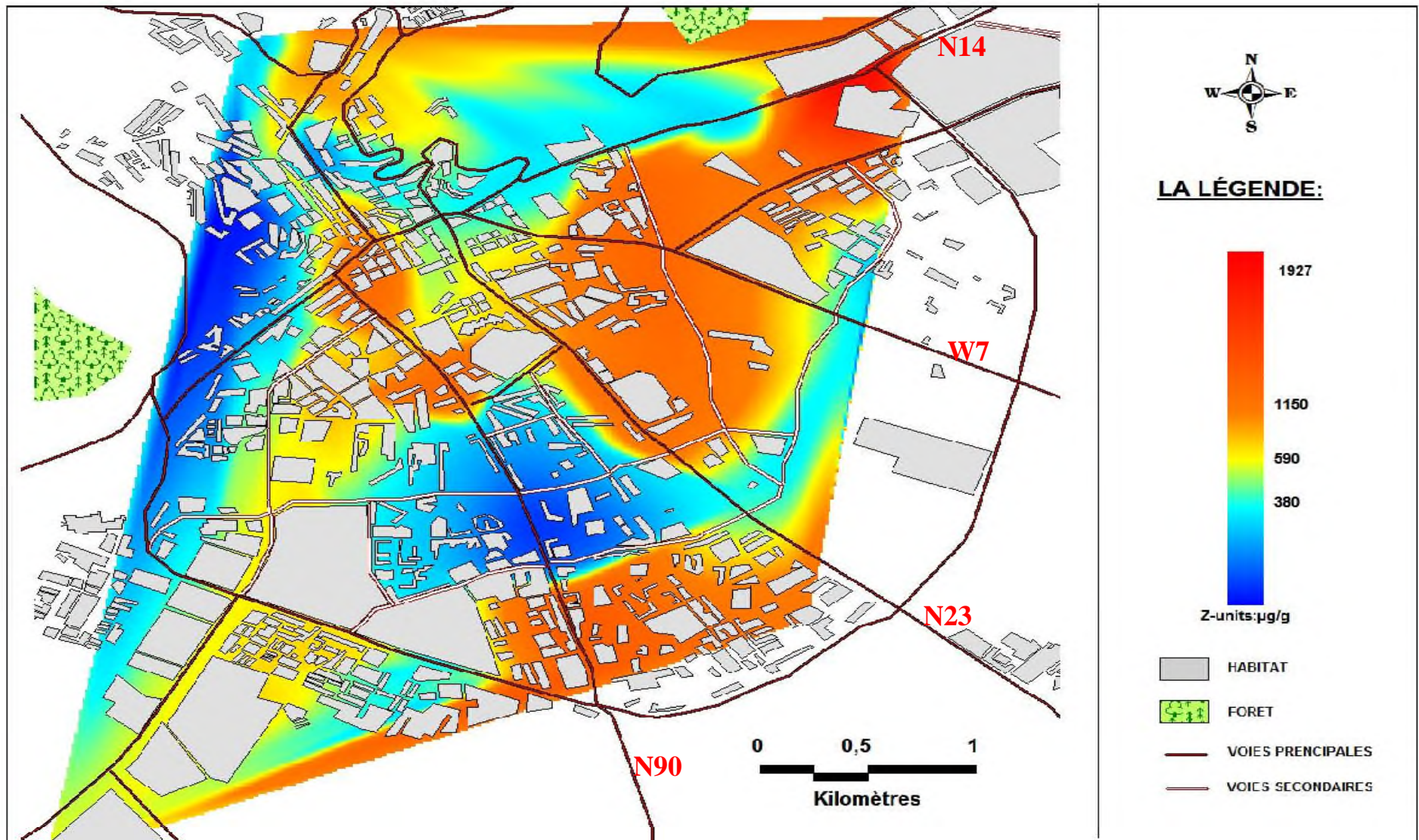


Figure 30 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).

L'analyse de la carte de la pollution atmosphérique par le zinc (Fig. 30), a permis de définir quatre classes de pollution avec des concentrations allons en moyenne de 616,66 $\mu\text{g/g}$ à 1146 $\mu\text{g/g}$.

Les plus fortes concentrations en zinc sont regroupées dans la classe 03, qui est représentée par la couleur rouge, cette dernière, appelée classe chaude, indique la présence d'une pollution très élevée avec une moyenne de $1041 \pm 81,98 \mu\text{g/g}$. Cette couleur regroupe les stations localisées dans le Nord – Est, le centre et le Sud de la ville de Tiaret.

Nous observons également, la présence de la couleur orange, en effet cette dernière dévoile la présence d'une pollution élevée avec en moyenne de $786 \pm 47,42 \mu\text{g/g}$. Cette couleur englobe les sites localisés dans le Nord et le Sud – Ouest de la ville de Tiaret mais aussi elle localise dans la périphérie de la couleur rouge.

Les zones représentées par la couleur jaune, sont caractérisées par une pollution moyenne de $616,66 \pm 58 \mu\text{g/g}$. Néanmoins ces sites sont dit ouverts et sont donc aérés. En effet, le vent permet la dispersion des polluants et donc le renouvellement de l'air.

Par contre les stations de la couleur bleue, sont marquées par une pollution faible avec $330 \pm 70,71 \mu\text{g/g}$. En effet ces stations sont caractérisées par un trafic routier faible.

3.3.3. Carte de pollution atmosphérique par le cuivre

La carte de pollution atmosphérique par le cuivre, réalisée à l'aide de transplants de mousse « *Bryum argenteum* Hedw » dans la ville de Tiaret, est évoquée dans la figure 31.

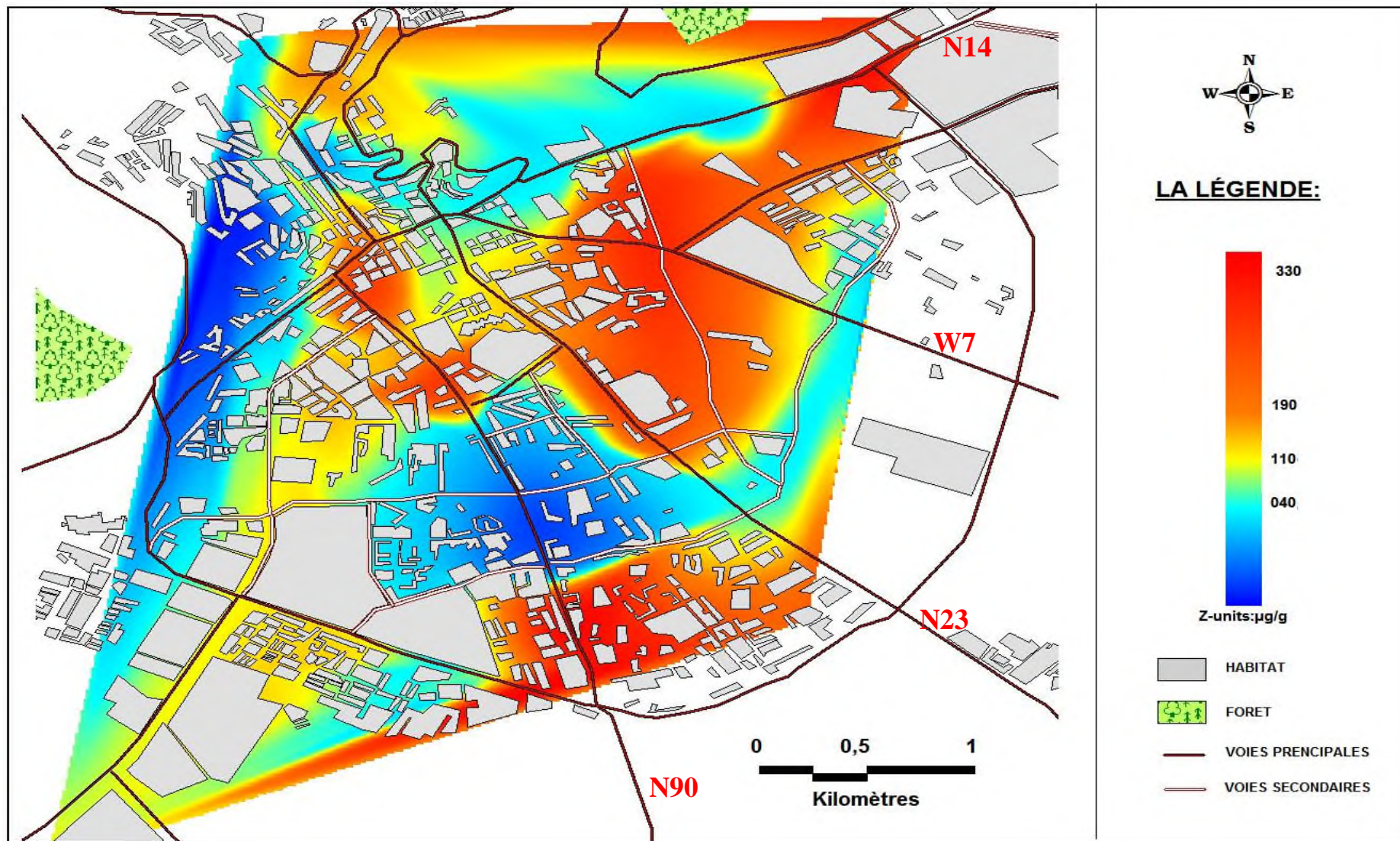


Figure 31 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière dans la ville de Tiaret (Algérie).

En décomposant la carte de la pollution de l'air par le cuivre (Fig. 31), nous percevons la présence de 03 classes de pollution oscillons en moyenne de 108,23 $\mu\text{g/g}$ à 310 $\mu\text{g/g}$.

En effet, les teneurs élevées en cuivre sont enregistrées dans la classe 3, avec une moyenne de 310,23 \pm 24,55 $\mu\text{g/g}$. Cette dernière, appelée classe chaude, est illustrée par la couleur rouge. Cette couleur regroupe les stations localisées dans le centre, le Sud et le Sud – Ouest de la ville de Tiaret.

La présence de la couleur jaune dévoile l'existence d'une pollution moyenne avec en moyenne de 199,33 \pm 34,73 $\mu\text{g/g}$. Malgré que ces stations soient caractérisées par un trafic routier important, nous notons l'existence d'une pollution moyenne ; cela est dû au fait que ces stations sont localisées dans des sites ouverts et bien aérés et donc permet la dispersion des polluants.

Par contre les stations de la couleur bleue sont marquées par une pollution faible avec une moyenne de 108,23 \pm 24,55 $\mu\text{g/g}$. Ces stations sont caractérisées par un trafic routier faible.

Les principaux polluants métalliques émis, en milieu routier, sont issues des carburants, des pneus, des garnitures et des freins (Pagotto, 1999 ; Deletraz, 2002).

Le centre de la ville de Tiaret se caractérise par un relief défavorable, en effet il se situe dans une cuvette. Cette partie de la ville possède un taux très élevé des éléments traces métalliques en l'occurrence le plomb, le zinc et le cuivre ; cela est dû à la mauvaise circulation de l'air. Le manque d'aération ne permet pas le renouvellement d'air et donc l'évacuation des polluants. Les zones de cette partie de la ville connaissent un embouteillage important et du coup libération plus intense des gaz d'échappement ce qui entraîne un degré très élevé de pollution.

Le Nord – Est et le Sud, se caractérisent par une pollution très élevée. Cette pollution est expliquée par la fréquentation dense et hebdomadaire de tous les moyens des transports routiers vue qu'elles sont des routes principales (RN 14 et RN 90), en plus c'est une partie administrative et qu'elles contiennent un parc de stationnement de voitures.

Malgré que les stations localisées dans l'Est de la ville, et en dépit de leur haut positionnement altitudinal, elles sont très polluées. C'est probablement dû à l'ouverture depuis quatre ans d'une nouvelle voie d'évitement et c'est aussi à cause de son statut administratif dû à la présence de la wilaya, du Tribunal et aussi de la clinique ORL.

Le Sud de la ville se caractérise par une pollution très importante cela est dû à la présence de la gare routière.

Les zones représentées par la couleur jaune se caractérisent par une pollution moyenne. Cela est dû, au fait que ces stations possèdent une bonne aération.

En effet, ces sites sont assez ouverts, favorisant la dispersion de retombées atmosphériques qui sont transportées par le vent.

Les zones représentées par la couleur bleue sont les zones les moins polluées. Ces dernières se caractérisent par une circulation moins importante que les autres stations.

Cette expérience a amené à discerner la dégradation de la qualité de l'air dans ces sites et que les retombées atmosphériques du trafic routier constituent les principales sources du plomb, zinc et cuivre. Toutefois, les sites des zones montagneuses affectées d'une pente relativement forte et d'un trafic routier très important, en effet, la pente oblige le moteur à développer plus

de puissance et à rejeter plus de polluants, elle entraîne donc une augmentation considérable des émissions (Madany et *al.*, 1990).

Ces résultats semblent indiquer, dans une première approche, que la pollution, d'origine routière, est une composante importante responsable de l'altération de la qualité de l'air dans ces cités.

3.4. Evolution de la pollution atmosphérique par le plomb et le zinc dans le milieu urbain de Tiaret (du 2010 au 2014)

Dans le but d'étudier l'évolution de l'état de pollution atmosphérique par le Pb et Zn, nous avons comparé deux cartes : la première (a) a été réalisée à partir des résultats obtenus via cette étude (durant l'année 2014), en utilisant la mousse *Bryum argenteum*. Hedw, comme espèce bioaccumulatrice du plomb (Pb) et du zinc (Zn) ; cependant, la deuxième carte (b) a été réalisée à partir des données récoltées sur un lichen *Xanthoria pareitina* comme espèce bioaccumulatrice également du plomb et du zinc (Maatoug et al., 2010 ; 2012).

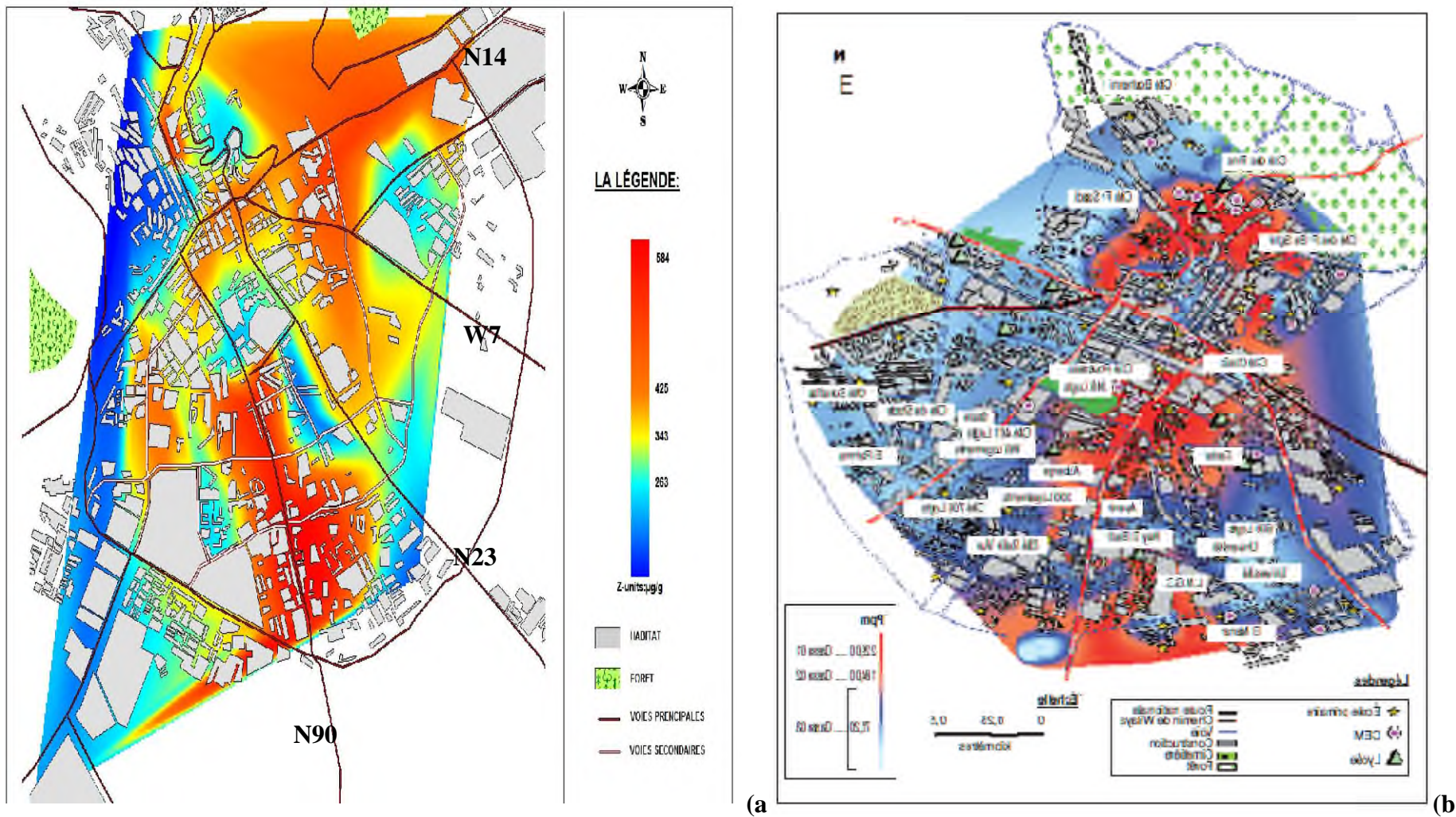


Figure 32 : Evolution de l'état de pollution plombique dans le milieu urbain de Tiaret durant la période de 2010 au 2014

(a) Cartographie des teneurs en Pb par la mousse *Bryum argenteum*.Hedw (selon nos résultats 2014)

(b) Cartographie des teneurs en Pb, par lichen *Xanthoria parietina*, selon Maatoug et al., (2010)

La comparaison des cartes (Fig. 32) a permis de constater, que l'état de l'air de la ville de Tiaret c'est aggravé au bout de quatre ans. En effet, il a été enregistré, au cours de l'année 2010, un maximum de 248 $\mu\text{g/g}$ pour les teneurs en Plomb (Maatoug et *al.*, 2010), contre un maximum de 584 $\mu\text{g/g}$ au cours de 2014.

Dans le côté Est de la ville, une pollution très élevée est remarquable en 2014 ; en revanche ce côté ne souffrait pas de cette pollution en 2010.

Dans le Sud, la pollution est étendue, surtout autour de la route nationale N90, N14 et chemin de wilaya W7 au cours de 2014. Par contre, en 2010, la route N14 et chemin de wilaya W7 sont caractérisés par un faible taux de pollution.

La pollution du centre de la ville c'est accrue au bout de 4 ans. En effet, nous remarquons une évolution de cette pollution du fait qu'on est passé en moyenne de $237,60 \pm 7,02 \mu\text{g/g}$ à $543,78 \pm 30,41 \mu\text{g/g}$.

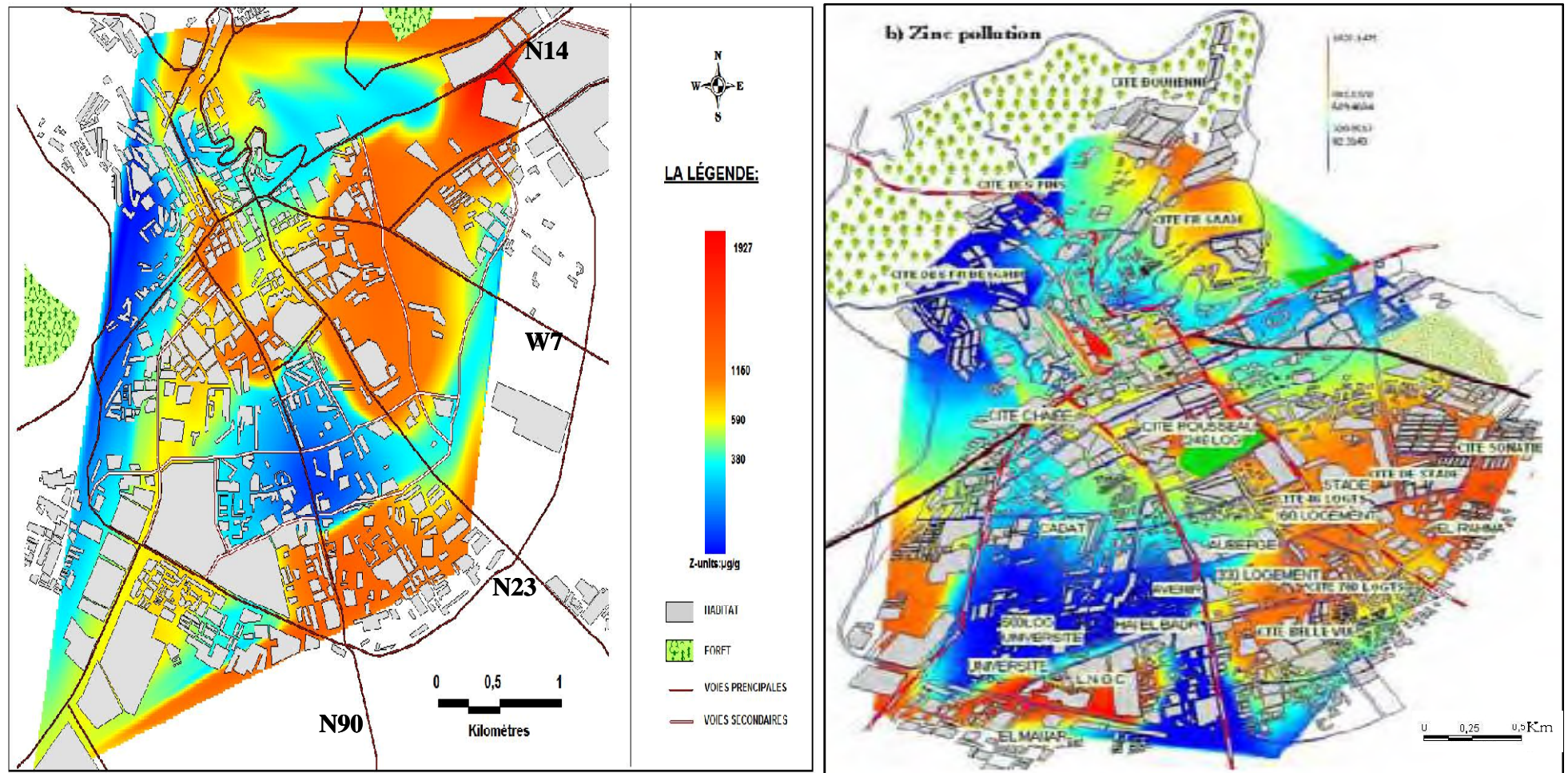


Figure 33 : Evolution de l'état de pollution par le zinc dans le milieu urbain de Tiaret durant la période de 2010 au 2014

(a) Cartographie des teneurs en Zn par la mousse *Bryum argenteum* (selon nos résultats)

(b) Cartographie des teneurs en Zn, par lichen *Xanthoria pareitina*, selon Maatoug et al., (résultats de 2010 publiés en 2012)

La comparaison des cartes (Fig. 33) a permis de constater, que l'état de l'air de la ville de Tiaret c'est accentué au bout de quatre ans. En effet, il a été enregistré, au cours de l'année 2010, un maximum de 1665 $\mu\text{g/g}$ pour les teneurs en zinc, contre un maximum de 1927 $\mu\text{g/g}$ au cours de 2014.

Une pollution très élevée, est remarquée, dans le côté Est de la ville de Tiaret, en 2014 ; en revanche ce côté ne souffrait pas de cette pollution en 2010.

Nous percevons également qu'en 2014, le Nord Est endure une importante pollution, à contrario cette partie de la ville de Tiaret ne subissait qu'un faible taux de pollution.

Dans le Sud en 2014, la pollution est étendue, surtout autour de la route nationale N90, N23 et chemin de wilaya W7, en revanche en 2010, la pollution de l'air se déploie uniquement sur la route nationale N23 et chemin de wilaya W7.

La pollution du centre de la ville c'est accrue au bout de 4 ans. En effet, nous remarquons une évolution de cette pollution du fait qu'on est passé d'un maximum de 1665 $\mu\text{g/g}$ à 1927 $\mu\text{g/g}$.

L'augmentation du taux de pollution ne peut s'expliquer que par le fait que le parc automobile a connu une nette augmentation en effectif ces dernières années. En effet on est passé de 8581 (en 2010) à 13543 (en 2013) tous types confondus (ONS, 2015), d'après l'ONS (2015), durant le premier semestre de 2014 nous avons enregistré 6 231 véhicules. Ceci donne une idée de la gravité de la situation, et que si nous continuons avec ce rythme, l'air de la ville de Tiaret deviendra de plus en plus pollué et toxique pour tout être vivant.

De même, la densité de population ne cesse d'augmenter. Il est important de signaler qu'un nombre important d'écoles sont localisées dans ces points chauds et que la pollution peut constituer un danger pour la santé des élèves.

Le plomb est probablement le polluant le plus connu de l'opinion publique, d'une part, parce que son utilisation a été généralisée pendant très longtemps et d'autre part, parce qu'il représente un réel danger pour la santé publique (saturnisme, troubles psychiques).

De plus, on sait maintenant que son origine dans l'atmosphère ou dans les eaux superficielles est essentiellement anthropique. D'après Ramade (1993), les apports anthropiques de plomb sont dix fois supérieurs aux apports naturels (volcanisme, érosion, feux de végétation, embruns marins...).

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, et notamment à la combustion de l'essence, à l'usure des freins, des pneus, des carrosseries (Colandini, 1997).

Le plomb est un élément chimique toxique, 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.

La toxicité du plomb vis-à-vis des plantes dépend de l'espèce considérée. L'excès de plomb dans les plantes induit des troubles physiologiques et biochimiques diminuant la photosynthèse et la transpiration induisant ainsi un retard de croissance.

La présence de plomb dans l'organisme peut provoquer des troubles tels que le saturnisme, des crises d'épilepsie, voire même des troubles nerveux et psychiques.

Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport aux capacités d'assimilation de l'organisme. Cela est particulièrement vrai pour les éléments traces. Les éléments les plus souvent rencontrés comme phytotoxiques sont le cuivre, le manganèse, le nickel et le zinc (Logan et Traina, 1993).

Dans les villes algériennes, le trafic routier constitue la principale source de pollution atmosphérique en raison de l'accroissement constant du nombre de véhicules (5% en moyenne de croissance annuelle), de la vétusté de ceux-ci et de l'absence totale de contrôle des émissions. Selon l'Office National des Statistiques, 71% de ces véhicules ont plus de 10 ans d'ancienneté (Nejjari et *al.*, 2003)

3.5. Cas du Cuivre

Nous avons trouvés intéressant de confronter nos résultats à ceux obtenus par Maatoug et *al* (2007), sur le platane *Platanus acerifolia* Willd et le cyprès toujours vert *Cupressus sempervirens*. L. comme espèces bioaccumulatrices dans la ville de Tiaret.

Cinq sites ont été retenus dans cette investigation (Maatoug et *al.*, 2007), quatre sites urbains désignés par S1, S2, S3 et S4 sont situés dans le centre ville de Tiaret, où le secteur routier est important et un site témoin. Dans chaque station, trois arbres de platane et trois du cyprès toujours vert ont été choisis Le site témoin est éloigné de toute source de contamination de pollution atmosphérique et servira de références lors de la comparaison avec les sites contaminés.

Notons que les feuilles de platane fixent et accumulent les métaux lourds durant les périodes d'été et du printemps, avant de tomber en automne. Par contre, les feuilles de cyprès accumulent ces métaux durant toute l'année. Ces deux essences sont largement cultivées dans les différents sites d'étude et les concentrations en cuivre, d'origine routière, ont été déterminées dans leurs feuilles, Ceci avait pour but de quantifier les niveaux de la pollution de l'air par ce métal à partir des processus de bioaccumulation chez ces deux essences (Fig. 34).

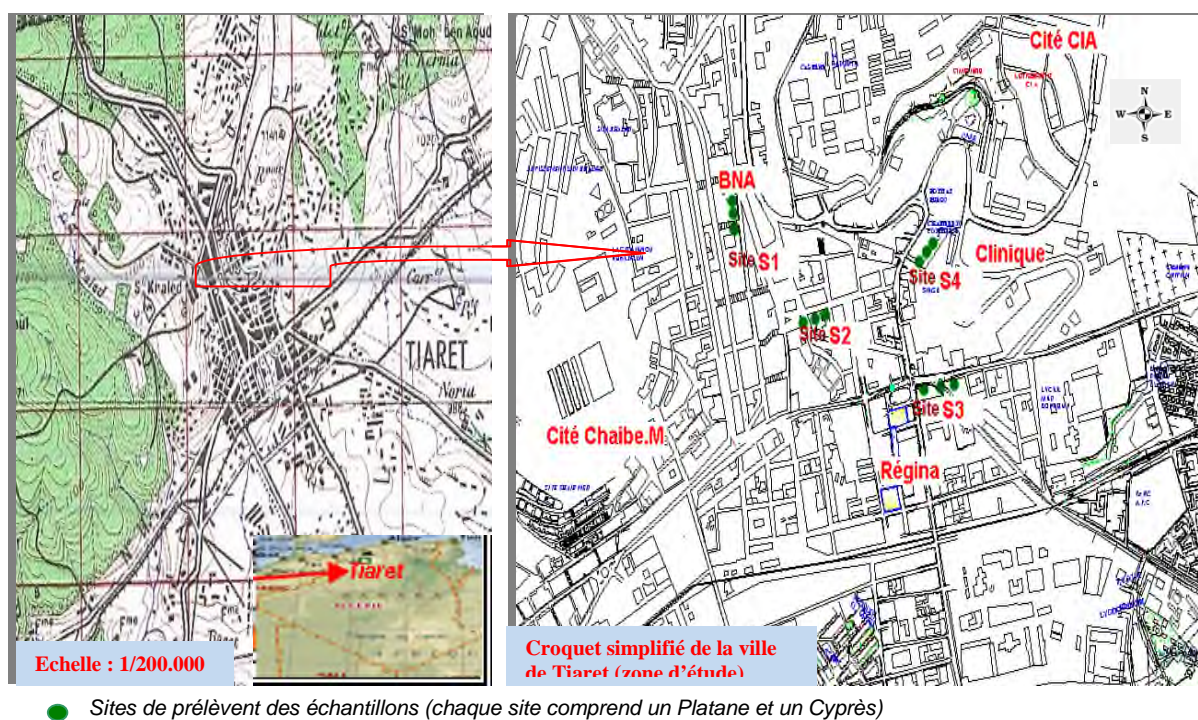


Figure 34 : Localisation de la zone d'étude (Maatoug et *al.*, 2007)

Pour chaque arbre, une cinquantaine de feuilles ont été prélevées à hauteur d'homme, afin d'éviter les contaminations dues aux projections venant du sol. Par la suite les échantillons ont fait l'objet d'un dosage du cuivre.

Suite aux résultats obtenus de la comparaison entre nos résultats et les résultats de cette investigation, nous observons une oscillation des teneurs en cuivre entre les différentes espèces. La capacité d'accumulation du cuivre par *Bryum argenteum*.Hedw est très élevée par rapport à celle des arbres, en effet elle en moyenne de $179,25 \pm 83,34 \mu\text{g/g}$ alors que les moyennes enregistrées par le platane et le cyprès sont respectivement de $27,90 \pm 5,57 \mu\text{g/g}$; $17,39 \pm 1,76 \mu\text{g/g}$.

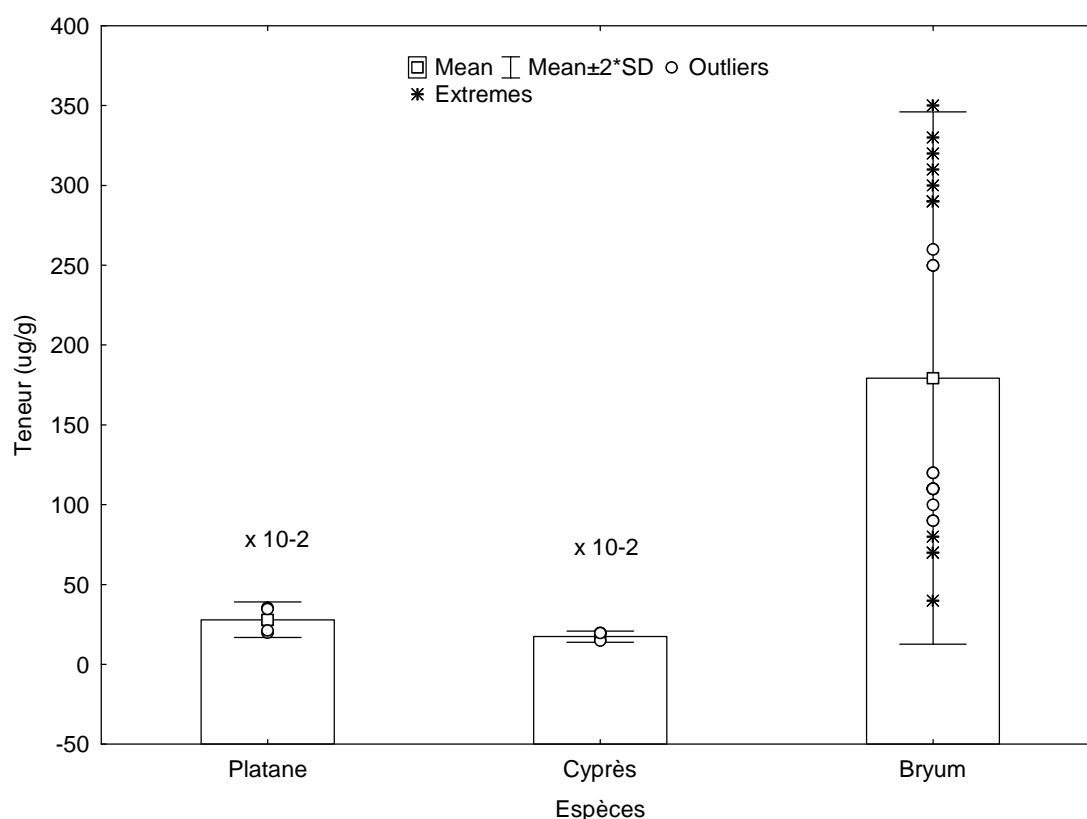


Figure 35 : Comparaison entre les teneurs en cuivre ($\mu\text{g/g}$) accumulées par les arbres (le platane et le cyprès) et celles accumulées par les mousses *Bryum argenteum*.Hedw transplantées dans la ville de Tiaret

L'architecture des mousses et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Amblard-Gross et al., 2002 ; Fernandez et al., 2002). De plus, les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent, notamment aux éléments traces métalliques, ce qui en fait des organismes adéquats pour la biosurveillance de ceux-ci (Krommer et al., 2007). Certains auteurs concluent que les

mousses seraient plus performantes pour le piégeage des éléments traces métalliques présents dans les dépôts humides et grossiers, que pour l'accumulation des dépôts secs (Sucharova et Suchara, 1998).

Alors que Bargagli et *al* (2002), trouvaient que les mousses sont plus susceptible d'accumulés les éléments lithophiles (Al, Cr, Fe, Mn,).

Néanmoins Agnan (2013) constatait qu'il n'y a pas de différence d'accumulation entre les mousses et les lichens, la différence dépend de la surface foliaire des espèces.

Pour les végétaux supérieurs, les fines particules chargées en plomb d'origine routière sont collectées par les surfaces foliaires. Il s'agit d'une assimilation externe des polluants métalliques. La sensible différence des concentrations en plomb accumulé entre le platane et le cyprès, est due certainement aux surfaces foliaires collectrices (principalement au niveau des cires épicuticulaires) de chaque arbre ; les feuilles de platane, qui sont lisses et larges, accumulent sensiblement mieux le plomb que le cyprès.

L'accumulation des éléments traces métalliques se fait sur les feuilles. En effet, les particules se déposent en surface sous forme de dépôts secs ou humides (pluie, neige, ou brouillard), par gravité et par impaction sous l'effet du vent et peuvent ensuite être retenues en surface (Breulmann et *al.*, 2002 ; Gratani et *al.*, 2008). Mais les particules peuvent aussi se retrouver dans le sol, après le lessivage par les pluies, et être absorbées par les racines puis circuler jusqu'aux feuilles (Breulmann et *al.*, 2002), ce qui rend l'utilisation des végétaux supérieurs en tant que bio-accumulateurs plus complexe.

3.6. Conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique par les métaux lourds

La pollution de l'air ou pollution atmosphérique est un type de pollution caractérisé par une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air.

Cette dégradation est causée par un ou plusieurs éléments (particules, substances, matières....) dont les degrés de concentration et la durée de présence sont suffisant pour produire un effet toxique et/ou écotoxique. Ce qui explique que ce genre de pollution est un enjeu de santé publique, au niveau mondiale comme individuel.

La qualité de l'air que l'on respire a connu une modification importante durant cette dernière décennie, due essentiellement à « l'introduction par l'homme » directement ou indirectement, dans l'atmosphère, de substances ayant des conséquences préjudiciables mettant en danger la santé humaine. Toutes les activités humaines portent atteinte à la qualité de l'air que nous

respirons et engendrent une pollution atmosphérique. La nature elle-même à travers les pollens, les volcans,.....participe aussi à cette pollution.

Concrètement, l'OMS estime qu'un décès sur 8 dans le monde est lié à une maladie provoquée par la pollution de l'air et souligne que la réduction de la pollution permettrait « *de sauver des millions de vies dans le monde* »

Dans la plupart des villes algériennes, les principales sources de pollution atmosphérique sont directement liées à la densité du trafic automobile, en croissance constante avec des véhicules utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement. Cette pollution affecte la plupart des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine et Annaba).

En Algérie, selon le ministère de l'Environnement (2010), le secteur des transports occupe le premier rang en termes d'émissions des polluants atmosphériques avec 51%, suivi de l'industrie avec 47,25 %.

Les polluants libérés dans l'atmosphère ont des effets particulièrement néfastes et ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques et quelquefois sévères apparaissant chez les populations.

3.6.1. Effet du plomb sur la santé humaine

Du fait de ses sources d'émission, le plomb peut se trouver dans différents milieux naturels (air, eau, sols), et par conséquent dans les plantes, dans les animaux et ainsi dans les aliments. Il peut également se retrouver dans certains éléments de l'habitat comme les anciennes peintures (Maherou et *al.*, 2013).

La principale voie d'absorption du plomb par l'organisme est digestive, par le lait, l'eau ou les boissons. Les jeunes enfants constituent la population cible de l'intoxication au plomb pour trois raisons. La première, c'est que leur absorption digestive est plus importante que celle de l'adulte (50 % du plomb ingéré passe dans le sang chez l'enfant et 10 % chez l'adulte). Ensuite, le système neurologique des enfants étant en phase de développement, ils sont plus sensibles à ce polluant. La dernière raison relève du comportement des enfants car ils ont tendance à porter des objets à la bouche et peuvent ainsi ingérer des écailles de peintures et de poussières contenant du plomb : c'est le mode de contamination majeur de l'enfant. L'absorption pulmonaire peut jouer un rôle important pour les expositions professionnelles ou

pour les personnes vivant sous les rejets atmosphériques d'entreprises polluantes, puisque 20% à 30% du plomb inhalé est absorbé par l'organisme (Maherou et *al.*, 2013).

Une fois dans l'organisme, le plomb se distribue dans le sang, les tissus et surtout l'os dans lequel il s'accumule, pouvant y rester stocké très longtemps.

Les effets sanitaires du plomb varient selon la gravité de l'intoxication, mais sont essentiellement neurologiques. La toxicité causée à long terme par ce métal est appelée « saturnisme », lorsque la plombémie (taux de plomb dans le sang) est supérieure ou égale à 100 µg/l chez l'enfant mineur. Elle peut avoir des effets sur les systèmes nerveux, hématopoïétique et cardio-vasculaire. A forte dose, le plomb provoque des troubles neurologiques, hématologiques et rénaux. Il peut entraîner chez l'enfant des troubles du développement cérébral, avec des perturbations psychologiques et des difficultés d'apprentissage scolaire. (Krupnick et *al.*, 1990 ; Abbey et *al.*, 1995 ; Burnett et *al.*, 1999 ; Stieb et *al.*, 2000 ; Maherou et *al.*, 2013).

3.6.2. Effet du zinc sur la santé humaine

Le zinc est un élément qui est essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. Les carences en zinc peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances (Maherou et *al.*, 2013).

Bien que l'homme puisse proportionnellement gérer des quantités importantes de zinc, trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie. De très hauts niveaux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines. Une exposition intensive au chlorure de zinc peut provoquer des désordres respiratoires.

Le zinc peut être un danger pour les enfants à naître et les nouveau-nés. Quand la mère a absorbé des concentrations importantes de zinc, les enfants peuvent y être exposés par le sang ou la consommation de lait (Maherou et *al.*, 2013).

3.6.3. Effet du cuivre sur la santé humaine

On peut trouver du cuivre dans l'eau, l'air et dans beaucoup de types d'aliments. Les aliments les plus riches en cuivre sont le foie de veau, d'agneau, le chocolat, le thé et le café.

L'absorption de cuivre est nécessaire, car c'est un élément essentiel pour la santé. Mais une exposition à des quantités excessives peut causer des problèmes de santé importants. Le cuivre peut également se retrouver dans l'eau potable par corrosion des tuyaux (Maherou et *al.*, 2013).

L'absorption du cuivre peut se faire par voie respiratoire et digestive, la voie cutanée étant négligeable. Ce composé se stocke principalement dans le foie et dans les reins. Une intoxication aigüe par inhalation peut entraîner irritation des muqueuses respiratoires et oculaires, des congestions des muqueuses nasales et du pharynx, ainsi que des ulcérations voire des perforations du septum nasal. L'absorption d'une dose unique d'un dérivé du cuivre par ingestion donne lieu à des douleurs épigastriques, des céphalées, des nausées, des étourdissements, des vomissements, de la diarrhée, de la tachycardie, des difficultés respiratoires, de l'anémie, et une insuffisance hépatique et rénale aboutissant à la mort. Une exposition au cuivre à long terme peut provoquer une irritation au nez, à la bouche et aux yeux et peut provoquer des maux de tête, des maux d'estomac, des vertiges, des vomissements et des diarrhées (Maherou et *al.*, 2013).

3.6.4. Effet de la pollution de l'air sur la population Tiaretienne

Suite aux résultats obtenus de la carte de pollution de l'air par le plomb, le zinc et le cuivre ; nous avons constaté qu'un très grand nombre des écoles et des administrations sont localisées dans les points chauds qui correspondent à une pollution très élevée, sachant que les plus importants dommages liés à la pollution de l'air concernent la santé humaine.

Les données démographiques et épidémiologiques actuellement disponibles permettent d'évaluer l'importance de la morbidité respiratoire et son évolution prévisible.

Selon l'OMS, les infections des voies respiratoires sont la deuxième cause de décès prématurés dans le monde en 2012, après les cardiopathies (OMS, 2014).

Compte tenu du caractère sérieux de la pollution de l'air à Tiaret, nous avons effectué une enquête sur les maladies respiratoires au cours de l'année 2011 et 2014.

Au cours des 6 premiers mois de l'année 2011, l'établissement public hospitalier de Tiaret a enregistré 240 cas d'asthme, alors qu'en 2014 (Fig. 36) nous avons enregistré 273 cas admis pour problèmes d'asthmes dont 46 % hommes et 54 % femmes.

Nous remarquons également que le nombre d'enfants asthmatiques hospitalisés sont de 299 enfants, ceci est enregistré uniquement durant les 6 premiers mois de 2014. En effet, nous constatons que 68% sont âgés de moins de 5 ans dont 10 % sont âgés de moins de 1 an.

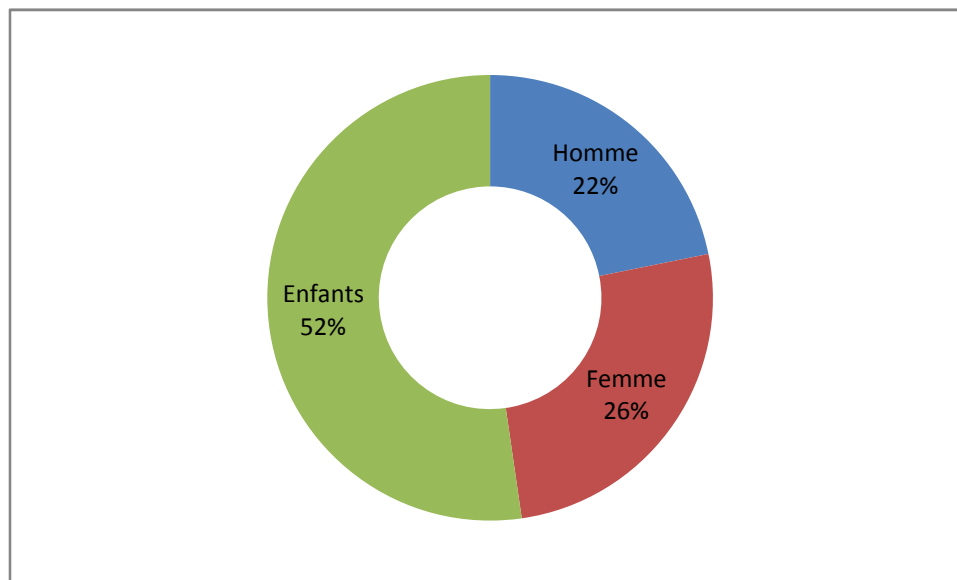


Figure 36 : Nombre d'asthmatiques hospitalisé durant le premier semestre 2014
(Etablissement public hospitalier de Tiaret, 2015)

Egalement nous avons effectué une prospection dans les établissements scolaires (Lycées, CEM et Primaires) de la ville de Tiaret, cette prospection nous a permis de constater que les écoles situées dans les sites très pollués, avaient chaque année une dizaine de nouveaux cas d'asthme et des problèmes respiratoires.

Egalement certain établissement scolaires localisés dans le centre ville, affirment l'évolution des maladies cardiaques, comme par exemple le cas dans un primaire, d'après le directeur, sur 610 élèves 20 ont un problème cardiaque et il note la présence croissante et aggravée de problème d'allergie.

Alors que dans les zones où la pollution atmosphériques est mineure, les établissements scolaires ne endurent pas autant de ces maladies que ce soit respiratoires où cardiaques en revanche reste toujours le problème des allergies mais moins grave que les établissements localisés dans les zones pollués.

Ces résultats affirment les prévisions faites par le ministère de l'environnement en 2010, où il a prévus que chaque année, 10 à 12 millions d'algériens auront à consulter un médecin pour des maladies respiratoires liées à, ou aggravées par la pollution atmosphérique. Selon les

prévisions sur 2010, environ 300 000 algériens seront atteints de pneumonie et 700 000 d'asthme. Pour la bronchite chronique, 250 000 algériens souffriront de cette maladie, alors que pour le cancer bronchique primitif, ils seront de l'ordre de 3 600 personnes.

Tout le monde s'accorde sur le fait que le secteur des transports est essentiel au développement économique et social. Le désir d'une mobilité facilitée et accrue est aussi très largement partagé dans le monde. Mais en Algérie, même si les avantages de ce secteur sont énormes, les transports représentent, selon les spécialistes, l'une des causes principales de la pollution atmosphérique, surtout en milieu urbain. Ils sont également à l'origine de la forte dégradation de la qualité de l'air et mettent sérieusement en danger la sécurité sanitaire des populations. La pollution automobile est assurément un fléau de la vie moderne, voire un véritable problème de santé publique, selon les médecins.

Des chiffres qui donnent froid au dos sur les cas de maladies respiratoires causées par la pollution, annoncés par Nafti (2013) lors de la 3^{ème} journée de pneumologie, huit (08) millions d'algériens sont touchés chaque année par les affections respiratoires dont 500.000 font des complications graves. 28 à 30 cas de cancer des poumons dus à la pollution sont enregistrés par an sans oublier les 3,4% de cas d'asthme et 3,7% de BPCO (Bronchopneumopathie chronique obstructive). Quant à la tuberculose, nous sommes à 25 cas pour 100.000 habitants. Médecins et pneumologues tirent la sonnette d'alarme sur ces maladies qui progressent de façon inquiétante et dont le facteur de risque est la pollution. Les médecins plaident pour des solutions radicales afin de limiter les dégâts. L'application des lois avec rigueur et la sanction sont les seuls moyens qui peuvent réduire le taux de ces maladies qui risquent de progresser rapidement si des mesures ne sont pas prises. Selon Nafti (2013), l'Algérie importe 250.000 véhicules par an. Tous ces véhicules circulent dans la nature au moins dix heures par jour, dégageant des tonnes et des tonnes de déchets.

L'augmentation importante et rapide du nombre de véhicules à moteur, en particulier des véhicules à moteurs anciens et/ou utilisant des combustibles de mauvaise qualité, de même que l'augmentation de la production d'énergie provenant du charbon et autres combustibles sales, exposent les populations à des risques plus élevés pour la santé dus à la pollution de l'air. Pour y remédier, l'OMS estime que «les villes peuvent recenser leurs principales sources de pollution atmosphérique, et mettre en œuvre des politiques dont on sait qu'elles améliorent la qualité de l'air, par exemple : promotion des transports publics, de la marche et du vélo (plutôt que des transports reposant en grande partie sur les véhicules à moteur privés).

Conclusion générale

Et

Perspectives

Conclusion générale et perspectives

Le but de cette étude est d'instituer une cartographie de la pollution atmosphérique par les éléments traces métalliques (plomb, zinc et cuivre) d'origine routière d'une part, d'autre part est d'estimer les concentrations de ces polluants dans la mousse *Bryum argenteum*. Hedw au sein de la ville de Tiaret (Algérie).

Effectivement, les concentrations du plomb, zinc et cuivre ont été obtenues à partir de la mousse transplantée dans 41 sites, réparti sur l'ensemble de la ville de Tiaret.

La classification automatique des 41 sites, a permis de ressortir les résultats suivants :

* 04 classes de pollution par le plomb, dont le taux de concentration varie en moyenne de $184,50 \pm 14,90 \mu\text{g/g}$ à $543,78 \pm 30,41\mu\text{g/g}$; ces valeurs sont nettement supérieures à celles des sites témoins $14,75 \pm 3,30 \mu\text{g/g}$.

* 04 classes de pollution atmosphérique par le zinc sont observées, les teneurs du zinc varie en moyenne de $1041 \pm 81,98 \mu\text{g/g}$ à $330 \pm 70,71 \mu\text{g/g}$. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins qui sont de $39,75 \pm 7,84 \mu\text{g/g}$ de moyenne.

* 03 classes de pollution par le cuivre sont avisées, les concentrations sont en moyennes, pour l'ensemble des classes, de $310 \pm 22,03 \mu\text{g/g}$ à $108,23 \pm 24,55 \mu\text{g/g}$. Ces teneurs sont plus élevées comparativement aux mousses témoins qui ont une moyenne de $14 \pm 2,94 \mu\text{g/g}$.

La lecture des cartes de pollution par le plomb, le zinc et le cuivre a permis de ressortir les constatations suivantes :

Le centre de la ville de Tiaret se caractérise par un relief défavorable, en effet il se situe dans une cuvette. Cette partie de la ville possède un taux très élevé des éléments traces métalliques en l'occurrence le plomb, le zinc et le cuivre ; cela est dû à la mauvaise circulation de l'air. Le manque d'aération ne permet pas le renouvellement d'air et donc l'évacuation des polluants. Les zones de cette partie de la ville connaissent un embouteillage important et du coup libération plus intense des gaz d'échappement ce qui entraîne un degré très élevé de pollution.

Le Nord – Est et le Sud, se caractérisent par une pollution très élevée. Cette pollution est expliquée par la fréquentation dense et hebdomadaire de tous les moyens des transports

routiers vue qu'elles sont des routes principales (RN 14 et RN 90), en plus c'est une partie administrative et qu'elles contiennent un parc de stationnement de voitures.

Malgré que les stations localisées dans l'Est de la ville, et en dépit de leur haut positionnement altitudinal, elles sont très polluées. C'est probablement dû à l'ouverture depuis quatre ans d'une nouvelle voie d'évitement et c'est aussi à cause de son statut administratif dû à la présence de la wilaya, du Tribunal et aussi de la clinique ORL.

Le Sud de la ville se caractérise par une pollution très importante cela est dû à la présence de la gare routière.

Les zones représentées par la couleur jaune se caractérisent par une pollution moyenne. Cela est dû, au fait que ces stations possèdent une bonne aération.

En effet, ces sites sont assez ouverts, favorisant la dispersion de retombées atmosphériques qui sont transportées par le vent.

Les zones représentées par la couleur bleue sont les zones les moins polluées. Ces dernières se caractérisent par une circulation moins importante que les autres stations.

Cette expérience a amené à discerner la dégradation de la qualité de l'air dans ces sites et que les retombées atmosphériques du trafic routier constituent les principales sources du plomb, zinc et cuivre. Toutefois, les sites des zones montagneuses affectées d'une pente relativement forte et d'un trafic routier très important, en effet, la pente oblige le moteur à développer plus de puissance et à rejeter plus de polluants, elle entraîne donc une augmentation considérable des émissions.

Ces résultats semblent indiquer, dans une première approche, que la pollution, d'origine routière, est une composante importante responsable de l'altération de la qualité de l'air dans ces cités.

La comparaison des cartes de pollution par le zinc et le plomb, a permis de constater, que l'état de l'air de la ville de Tiaret c'est aggravé au bout de quatre ans. En effet, il a été enregistré, au cours de l'année 2010, un maximum de 248 $\mu\text{g/g}$ en 2010 pour les teneurs en Plomb, contre un maximum de 584 $\mu\text{g/g}$ au cours de 2014.

Tandis que le maximum enregistré en 2014 par le zinc est de 1927 $\mu\text{g/g}$ a contrario en 2010 été enregistré 1665 $\mu\text{g/g}$.

Suite aux résultats obtenus de la comparaison des teneurs obtenus par la mousse *Bryum argenteum*.Hedw, le cyprès toujours vert *Cupressus sempervirens*.L et le platane *Platanus acerofolia*.Willd, nous observons une oscillation des teneurs en cuivre entre les différentes espèces. La capacité d'accumulation du cuivre par *Bryum argenteum*.Hedw est très élevée par rapport à celle des arbres, en effet elle en moyenne de $179,25 \pm 83,34 \mu\text{g/g}$ alors que les moyennes enregistrées par le platane et le cyprès sont respectivement de $27,90 \pm 5,57 \mu\text{g/g}$; $17,39 \pm 1,76 \mu\text{g/g}$.

En considérant nos résultats et ceux obtenus suites aux travaux antérieurs, nous avons discernés que la ville de Tiaret endure d'une pollution atmosphérique sévère au cours des quatre dernières années (de 2010 à 2014). Cela est probablement dû au mauvais état des routes de la ville et à l'augmentation du nombre de voitures.

Les résultats trouvés ont montré que les mousses peuvent servir de bio-moniteurs efficaces des métaux lourds (Pb, Zn et Cu). En effet les mousses peuvent constituer des réseaux d'espèces bio-indicatrices de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante pour établir un diagnostic de la qualité de l'air.

Compte tenu du caractère grave de la pollution de l'air à Tiaret, nous avons effectué une enquête sur les maladies respiratoires au cours de l'année 2011 et 2014.

Au cours du premier semestre de 2011, l'établissement public hospitalier de Tiaret à enregistré 240 cas d'asthme, alors qu'en 2014 avez enregistré 273 cas admis pour problème d'asthmes dont 46 % hommes et 54 % femmes.

Nous apercevons également que le nombre d'enfants asthmatiques hospitalisés sont de 299 enfants dont 10 % sont âgés de moins de 1 an.

L'enquête dans les établissements scolaires de la ville de Tiaret, a permis de relever que les écoles situées dans les sites très pollués, avaient chaque année une dizaines de nouveaux cas d'asthme et des problèmes respiratoires.

Alors que dans les zones où la pollution atmosphériques est mineure, les établissements scolaires ne endurent pas autant de ces maladies que ce soit respiratoires où cardiaques en revanche reste toujours le problème des allergies mais moins grave que les établissements localisés dans les zones pollués.

Perspectives

La pollution est un domaine pluridisciplinaire et multisectoriel par excellence. Il implique le physicien, le biologiste, le médecin, le chimiste, etc.....Les scientifiques ont un rôle important à jouer et, même si leurs théories ne sont pas suffisamment prouvées, leurs avis doivent compter. Le dialogue entre les chercheurs et les décideurs est nécessaire et bénéfique et ce avant que les décisions indispensables pour la protection de la santé et la sauvegarde de l'environnement ne soient prises. Ces décisions sont souvent difficiles à prendre, car elles peuvent avoir des conséquences économiques et sociales considérables:

- * sur le court terme par la remise en cause des systèmes de gestion et de production,
- * sur le moyen et le long terme par la protection de la santé, la sauvegarde de l'environnement et la survie des futures générations.

A l'heure actuelle, les problèmes posés par la pollution atmosphérique commencent à être mieux compris, à défaut d'être réellement maîtrisés. Au cours des 50 dernières années, les progrès de cette nouvelle science consacrée à la pollution de l'atmosphère ont été par moments spectaculaires. Il convient donc de ménager l'air, l'eau, le sol et de se débarrasser des déchets produits, chaque jour, en quantité croissante et de façon la plus propre possible. La prise de conscience, survenue récemment, conduit à entreprendre des actions de façon active au niveau des systèmes de transport, des industries, de la gestion des eaux usées et des déchets et de la gestion durable des communautés urbaines pour lutter efficacement contre toutes formes de pollution. Les investissements, consacrés à la protection de la santé et à la sauvegarde de l'environnement, doivent être considérés comme opportuns et rentables, car à bien regarder, la pollution a un coût économique et social évident. Il faut mieux gérer les facteurs de dégradation de la santé publique en amont par la gestion de la pollution qu'en aval par la gestion des maladies. Les investissements publics en amont peuvent s'avérer moins coûteux que les investissements consentis en aval.

Ces observations confirment également la nécessité de réduire les émissions polluantes issues du trafic routier par le renouvellement de parc automobile, l'amélioration de réglage de la combustion des moteurs, l'utilisation des filtres au niveau des tuyaux d'échappement et l'utilisation de carburants moins polluants, ou bien il faut s'orienter vers l'utilisation de la bioénergie, le biocarburant (bioéthanol, biogaz, biodiesel....) et l'énergie renouvelable, retirer toutes les incitations à l'achat de véhicules diesel plutôt qu'à essence, soutenir les moyens de

transport moins polluants, comme les transports en commun, poursuivre les recherches sur le coût des maladies causées par la pollution de l'air et sur leur lien avec le transport routier, réduire l'impact de la pollution de l'air sur les groupes vulnérables, en particulier les enfants et les personnes âgées.

Il est indispensable de connaître l'évolution de l'état de notre environnement en procédant au diagnostic régulier de notre atmosphère.

Références

Bibliographiques

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abbey D.E; lebowitz M.D; mills P.K.** Long-term ambient concentrations of particulates and oxidants and development of chronic disease in a cohort of nonsmoking California residents. *Inhalation Toxicology* (1995) 7: 19-34 p.
- **Aceto, M; Abollino, O; Conca, R; Malandrino, M; Mentasti, E; Sarzanini, C.**The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Chemosphere* (2003) 50: 333–342.
- **ADEM (2001).** Véhicules et carburants Quelles alternatives à l'essence et au gazole ?; réconcilions progrès et environnement, 20p.
- **Adriano, D.C.** Trace Metals in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, *Springer-Verlag*, New york, (2001): 866 Second ed.
- **AFT** (Agence foncière de Tiaret), 2001 Communication personnelle
- **Agnan Y. 2013.** Bioaccumulation et bio-indication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passée en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteurs d'influence.
- **Ah-Peng C.** Diversité, distribution et biogéographie des bryophytes des coulées de laves du Piton de la Fournaise (La Réunion). *Ecology, environment*. Université de la Réunion, (2007) : 338pp + Annexes.
- **Ah-Peng C.** Mise au point d'un outil diagnostique basé sur l'utilisation de la mousse aquatique *Fontinalis antipyretica* Hedw. En culture pour l'estimation de la qualité des cours d'eau. *Ingénierie de la santé et de l'Environnement*. Université d Lille II. (2003) : 164pp + Annexes.
- **Ah-Peng, C ; Rausch de Traubenberg, C.** Bryophytes aquatiques bioaccumulateurs de polluants et indicateurs écophysiologicals de stress : synthèse bibliographique. *Cryptogamie Bryologie* (2005) 25 : 205--248.
- **Airparif. 2010.** Les différents polluants et leur évolution. Association de surveillance de la qualité de l'air.
- **Amblard-Gross, G ; Féraud, J.F ; Carrot, F ; Bonnin-Mosbah, M; Maul, S; Ducruet, J.M; Coddeville, P; Béguinel, P et Ayrault S.** Biological fluxes conversion and SXRF experiment with a new active biomonitoring tool for atmospheric metals and trace element deposition, *Environmental Pollution* (2002). 120: 47-58.
- **Amirouche N ; Bouguedoura N; Hadj-arab H. 2010.** Botanique les embryophytes. Office des publications universitaires. 104p.

- **ANDI. 2015.** Wilaya de Tiaret. Invest in Algeria. 16.
- **Andre, B ; Lascombe C. 1985.** Comparaison de deux traceurs de la pollution métallique des cours d'eau : les bryophytes et les sédiments. Agence de Bassin Rhne-Mrditeranre-Corse, Annexe B, 63 p.
- **Anne T. S ; Isabelle F. 2005.** Contamination des Sols : Transferts des Sols vers les Plantes. Ed. EDP sciences et ADEME, Angers cedex, 413 p.
- **Anonyme 1997.** Centre SPIN., 1997. Ecole des Mines de Saint-Etienne, France.
- **Anthony. U.** Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide des données multi sources. Thèse Doc : Ecole doctorale « science de l'environnement d'Ile de France» (2003) : 115 p.
- **Asakawa Y; Ludwiczuk A; Nagashima F.** Phytochemical and biological studies of bryophytes. *Phytochemistry* (2013) 91: 52–80.
- **Aspa, 2004.** La pollution atmosphérique. Report air d'alsace. Numéro thématique, N°3 : 11p.
- **Aumont B.** La pollution atmosphérique aux échelles locales et régionales (2013) : 47.
- **Baazaoui, H. 2009.** Evaluation de la pollution photochimique a la ville de Tunis. 37p.
- **Baker, A.J.M; Walker, P.L.** Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Heavy metal tolerance in plants - Evolutionary aspects. *Shaw, A. (Eds). CRC Press,* (1989): 155-177.
- **Baladès, J ; Peybernard, J ; Pilloy, J.** La pollution chronique des eaux de tuissellement d'autoroutes interurbaines. Compte rendu de synthèse, LCPC Sctauroute SETRA. (1984).
- **Bardat J; Boudier, P.** Ecologie des bryophytes: phytosociologie, mésologie et dynamique, Centre de la Nature montagnarde, Château des Rubins, Sallanches (2002).
- **Bargagli R.** Trace Elements in Terrestrial Plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Springer - Verlag, (1998) Berlin.
- **Bargagli R; Brown, D.H., Nelli, L.** Metal biomonitoring with mosses: procedures for correcting for soil contamination. *Environmental Pollution* 89 (1995) 169–175.
- **Bargagli R; Monaci, F; Borghini, F; Bravi, F; Agnorelli, C.** Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy. *Environmental Pollution* 116 (2002) 279–287.
- **Bates J. W.** Mineral nutrient acquisition and retention by bryophytes. *Journal of Bryology* (1992) 17:223-240.

- **Berg T; Royset O; Steinnes E.** Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric Environment* (1995) 29(3): 353-360.
- **Bergamaschi, L; Rizzio, E; Giaveri, G; Loppi, S; Gallorini, M.** Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site, *Environmental Pollution*, (2007)148: 468-476.
- **Berlizov A.N., Blum O.B., Filby R.H., Malyuk I.A. et Tryshyn V.V. (2007).** Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions, *Science of the Total Environment*, 372, p. 693-706.
- **Blandin P.** Bioindicateur et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie*, T. (1986) 17(4): 1-309.
- **Bliefert et Perraud, 2004.** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol. Ed de Boeck Université, Bruxelles, 477p.
- **Boullard B. 1997.** Dictionnaire des Plantes et Champignons. Paris. Ed EDITIONS ESTEM. 875p.
- **Breulmann G; Markert B; Weckert V; Herpin U; Yoneda R; Ogino K.** Heavy metals in emergent trees and pioneers from tropical forest with special reference to forest fires and local pollution sources in Sarawak, Malaysia, *The Science of the Total Environment*, (2002) 285: 107-115
- **Brodo, I. M.** transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. *Ecology* (1961) 42: 838-841.
- **Brown, D. H; Bates J. W.** Bryophytes and nutrient cycling. *Botanical Journal of the Linnean Society* (1990). 104: 129-147.
- **Brown, D. H; Brumelis G.** A biomonitoring method using the cellular distribution of metals in moss. *The Science of the Total Environment* (1996) 187(2): 153-161.
- **Brumelis, G; Brown D. H.** Movement of metals to new growing tissue in the moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) BSG. *Annals of Botany* (1997) 79: 679-686.
- **Burnett, R.T; Smith-Doiron M; Stieb D; Cakmak S; and Brook J.R.** Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Arch Env Health* (1999): 54: 130–139 p.
- **Burton, M.A.S; Peterson P.J.** Metal accumulation by aquatic bryophytes from polluted mine streams. *Environmental Pollution*, (1979) 19(1): 39-46.

- **Casas, S.** Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb,Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus Galloprovincialis*, en milieu méditerranéen Thèse de Doctorat en Océanologie biologique environnement marin, université du sud - Toulon-Var : 2005. 363 p.
- **Ceburnis, D; Steinnes E; Kvietkus K.** Estimation of metal uptake efficiencies from precipitation in mosses in Lithuania. *Chemosphere* (1999) 38(2): 445-455.
- **Ceburnis, D; Valiulis D.** Investigation of absolute metal uptake efficiency from precipitation in moss. *The Science of the Total Environment* (1999) 226: 247-253.
- **CERTU.** Comparaison de méthodes d'analyse des Éléments Traces Métalliques ETM et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP sur les sols et les végétaux. *centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.* (2004) : 120.
- **CERTU-CERT. 2010.** L'air, la santé et les GES dans les débats publics des projets routiers.
- **Chakraborty, S; Paratkar, G.T.** Biomonitoring of Trace Element Air Pollution Using Mosses. *Aerosol and Air Quality Research.* (2006) Vol. 6,N°3 : 247-258.
- **Chatenet P; Botineau M., 2001.** Utilisation des lichens dans la mise en évidence des éléments traces présents dans les cours d'eau. *CryptogamieMycologie*, 22(3): 225- 237.
- **Chiffolleau J F ; Auger D ; Chartier E. P ; Michel I ; Truquet A ; Ficht J ; Gonzalez ; Romana L.** Spatiotemporal changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France): *Estuaries* (2001) 24(6B) : 1029-1040.
- **CITEPA** (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), (2001). La pollution atmosphérique en bref. Différentes échelles de pollution.
- **CITEPA 2011.** Emissions atmosphériques en France - France Métropolitaine – Substances relatives à la contamination par les métaux lourds. CITEPA / CORALIE SECTEN format. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, Paris, France. pp. 28.
- **Colandini, V., 1997.** Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux de ruissellement pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds. Thèse de doctorat. Pau. Université de Pau des pays de l'Adour (France). 161 p. + annexes
- **Couto J. A; Fernández J. A; Aboal J. R; Carballeira A.** Active biomonitoring of element uptake with terrestrial mosses: a comparison of bulk and dry deposition. *The Science of the Total Environment* (2004) 324: 211-222.

- **Crandall-Stotler, B. &Stotler, R.E., 2000.** Morphology and classification of the Marchantiophyta. In: A.J. Shaw & B. Goffinet (Editors), *Bryophyte Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 21-70.
- **Croteau M.N; Luoma, S.N; Stewart, A.R..** Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. *Limnol. Oceanogr.* (2005) 50:1511–1519.
- **Crum H.A; Anderson L.E., 1981.** Mosses of Eastern North America. Columbia University Press, New York, 1328 pp.
- **Cuny D; Pignata M.L; Kranner I; Beckett R.** Biomarkers of pollution-induced oxidative stress and membrane damage in lichens in: Nimis PL, Scheidegger C, Wolseley PA. *Monitoring with lichens (2002)*. Monitoring lichens. Kluwer, The Netherlands.
- **Cuny, D ; Van Haluwyn, C. 2003.** Intégration de la bio indication de la qualité globale de l'air à l'aide des lichens épiphytes dans l'étude <<sentinelles de l'air>> application au littoral dunkerquois et à l'agglomération lilloise –Paris-49P.
- **Dajoz, R. 1978.** Précis d'écologie. Paris : Bordas. 549P.
- **Dambrine E ; Augusto L ; Bonneau M. 2001.** Acidification dans le massif vosgien : comprendre les mécanismes pour apporter des solutions. Institut National de la Recherche Agronomique (Nancy), Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Office National des Forêts.
- **De Caritat, P ; Reimann, C ; Bogatyrev, I ; Chekuskin, V ; Finne, T.E ; Halleraker, J.H ; Kashulina, G ; Niskavaara, H ; Pavlov, V.** Regional Distribution of Al, B, Ba ,Ca, K, La, Mg, Mn, Na ,P, Rb, Si, Sr, Th, U and Y in Terrestrial Moss within a 188,000 km² Area of the Central Barents Region: Influence of Geology, Seaspray, and Uman Activity. *Appl. Geochem.* (2001) 16: 137-159.
- **DeForest D.K; Brix, K.V; Adams, W.J.** Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: The inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquatic Toxicology*, (2007) 84: 236–246.
- **Deletraz G ; Paul E.** État de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes. *Rapport de la Sociétés-Environnement-Territoires (SET) et du Laboratoire de la montagne alpine (LAMA)*. Équipe SIG. Espace Serge Martin. (1998) :144.

- **Deletraz G.** "Pollution automobile et écosystèmes dans les vallées de transit pyrénéennes", *Actes de la Journée de rencontres sur l'environnement*, (2000). Pau, VAL-UPPA, 27 sept. 2000, p. 38.
- **Deletraz G.** Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées). Thèse de Doctorat en Géographie - Aménagement. Université de Pau et des pays de L'Adour. Institut de Recherche sur les Sociétés et l'Aménagement. (2002) : 564 p + Annexes
- **Delmas – Gadras C.** Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse de docteur de l'université de Pau et des Pays de l'Adour (France). (2000) : 191 p + Annexes.
- **Deruelle S.** Effets de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique dans le bassin Parisien. Convention de recherche n° 79-15, ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (1981) : 91-112.
- **Desboeufs, K; Deguillaume, L; Leriche, M; Mailhot, G; Georges, C; Chaumerliac, N. 2001.** Trace metals supply in cloud and rain water, In **Air Pollution Modeling and Its Application XIV**, edited by S.-E. 409-417, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York,
- **Dietz, F. 1976.** Estimation de la pollution par métaux lourds dans la Somme par l'analyse des bryophytes aquatiques. *Bulletin Français de Pisciculture*, 48: 138-142.
- **Diop, C ; Sagna, P. 2011.** Vulnérabilité climatique des quartiers de Dakar au Sénégal : exemples de Nord-Foire-Azur et de Hann-Maristes. Colloque « Renforcer la résilience au changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation » (2R2CV). 07 et 08 juillet 2011. Université Paul Verlaine – Metz. France.
- **DPAT, 2013.** (Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire), TIARET, communication personnelle le 26-03-2013
- **DTP, 2013.** (Direction des Travaux Publics), TIARET, communication personnelle le 03-05-2013.
- **Durrieu F, 1999.** Etude des conditions météorologiques dans la vallée d'Aspe. *Maîtrise des Sciences et Techniques "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances : Option Air et Combustion"* : Université de Pau et des Pays de l'Adour. Pau. 40
- **Empain, A. 1988.** A posteriori detection of heavy metal pollution of aquatic habitats. In: J.M. Glime (Editor). *Methods in Bryology*. Hattori Bot. Lab., Mainz pp: 213-220.

- **Empain, A., 1973.** La végétation bryophytique aquatique et subaquatique de la Sambre Belge, son. Weitere Toxizitätsversuche an Wassermoosen. Gewässer und Abwasser, 60/61: 113-123 IN memo doc.
- **Estienne, P et Godard, A, 1993.** Climatologie. Paris : Armand Colin. 367 p. ISBN 2-200-31042-0.
- **Etablissements publique hospitalier de Tiaret. 2015.** Communication personnelle 2015.
- **Faburé, J.** Etude de l'accumulation et des effets des composés organiques volatils (BTEX) chez les bryophytes. *Ecology, environment*. Université du Droit et de la Santé - Lille II, (2009) 290p + Annexes.
- **Fernandez, J.A ; Ederra, A ; Nunez, E ; Martinez-Abaigar, J ; Infante, M ; Heras, P ; Elias, M.J ; Mazimpaka, V et Carballeira A.** Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis, *The Science of the Total Environment* (2002): 300. 115-127.fondamentaux. Ed Masson, 196.
- **Foan, L.M.** Biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes : Suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles. Thèse doctorat. Université de Toulouse. (2012) 320p + Annexes.
- **Fontan, J., 2003.** Les Pollutions de l'Air les Connaître pour les Combattre. 2^{ème} Ed., Vuibert, Paris, 211p.
- **Ford, J; Landers, D; Kugler, D; Lasorsa, B; Crecelius, E; Martinson, J.** Inorganic Contaminants in Arctic Alaskan Ecosystem: Long Range Atmospheric Transport or Local Point Sources. *Sci. Total Environ.* (1995) 160: 323-335.
- **Förstner, U; Wittmann, G.T.W.** Metal pollution in the aquatic environment. Berlin: Springer-Verlag, (1979) 486 p.
- **Frahm, J. P.** Biologie der Moose. *Spektrum Akademischer Verlag*, Heidelberg, (2001): 357 pp.
- **Frahm, J.P. 1976.** Weitere Toxizitätsversuche and Wassermoosen. Gewässer und Abwasser, 60/61: 113-123.
- **Frederick, B. 2008** analyse de la demande et des mesures de promotion françaises du biodiesel à l'horizon 2010 ; thèse doctorale
- **Frisque, G., 1981.** Accumulation par des bryophytes deux micropolluants: les polychlorobiphényles et le gamma-HCH, Université de Liège.
- **Garrec, J.P et Van Haluwyn .C. 2002.** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Éditions Tec & Doc, Lavoisier, Paris 118 p.

- **Garty J.** Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application, *Critical Reviews in Plant Sciences*, (2001) 20(4), p. 309-371.
- **Gerdol, R; Bragazza, L; Marchesini, R.** Element concentrations in the forest moss *Hylocomium splendens* : variations associated with altitude, net primary production and soil chemistry. *Environmental Pollution* (2002) 116:129-135.
- **Germain, G. 2006.** La pollution atmosphérique. Observatoire des Nuisances Aériennes Bureau d'études des nuisances aériennes (*Association loi 1901*)
- **Gilbert P ; Jerome G ; Laurent P. 1999.** Rapport d'étude préliminaire de la répartition de ¹²⁹I dans l'environnement de l'usine de retraitement de la Hague a l'aide d'une mousse terrestre : *homalotecium sericeum* association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest paris.
- **Gjengedal E; Steinnes E.** Uptake of metal ions in moss from artificial precipitation. *Environmental Monitoring and Assessment* (1990) 14: 77-87.
- **Glime J. M. 2013.** Meet the Bryophytes. Chapt. 2-1. In: Glime, J. M. Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook 2-1-1 sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists.
- **Gombert S; Rausch de Traubenberg C; Losno R., Leblond S; Colin J. L; Cossa D.** Biomonitoring of element deposition using mosses in the 2000 French survey: identifying sources and spatial trends. *Journal of Atmospheric Chemistry* (2004) 49: 479-502.
- **Gratani L; Crescente M F; Varone L.** Long-Term Monitoring Of Metal Pollution by Urban Trees. (2008) *Ed. Environment*. 42.
- **GUIBET, 2004 :** Étude de l'émergence de véhicules propres dans le domaine des « grands routiers » par l'utilisation du Gnv. 49p.
- **Happe D.** Connaissance et reconnaissance de la bryoflore commune *Point de vue d'un vigie-floriste. Journée vigie-flore 01/12/2012.* (2012): 36.
- **Harmens H ; Foan L ; Simon V ; Mills G.** Mosses as iomonitors of atmospheric POPs pollution: Areview. (2011): 20
- **Hejcman, M. Müllerová, V. Vondráčková, S. Száková, J. Tlustoš P.** Establishment of *Bryum argenteum* and concentrations of elements in its biomass on soils contaminated by As, Cd, Pb and Zn. (2014). *Plant Soil Environ. Vol. 60, No. 11: 489–495.*
- **Hoenner, V.** Evaluation de la pollution par les HAP et les métaux lourds en alsace. Mise en œuvre d'une campagne de mesure. ASPA06091401-ID. (2006) : 43p.

- **Huynh T.M. D.** Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ ver de terre/microflore tellurique. *Ocean, Atmosphere*. Thèse doctorat, Université Paris-Est, (2009) : 145 + Annexes.
- **INSP. 2007.** Bilan des données de pollution par les poussières (PM10) au niveau d'Alger de 2001 à 2006, Alger, Février
- **Jahns H.M.** 2007. Guide des fougères, mousses et lichens d'Europe. Paris. Ed.delachaux et Niestlé. 202p.
- **Joumard R ; Lamure C ; Lambert J.** Politiques de transport et qualité de l'air dans les agglomérations. LEN n° 9515. Bron : INRETS (France), (1995) : 125 p + Annexes.
- **Kabata-Pendias A ; Pendias H. 1992.** Trace elements in soils and plants. 2nd edition CRC press, Boca Raton, FL.
- **Khelil, R ; Alioua, A.** Utilisation des lichens comme bio-indicateurs de la pollution atmosphérique dans la région de Hassi Messaoud. (2006). Annales de la faculté des Sciences de l'Ingénieur. Vol1 N° 1(2006) : 29-33.
- **Kováč, M; Podani, J.** Bioindication a short review on the use of plants as indicators of heavy metals. *Acta Biologica Hungarica* (1986) 37(1): 19-29.
- **Kovács, M., 1978.** The element accumulation in submerged aquatic plant species in lake Balaton. *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae*.
- **Krommer, V; Zechmeister, H.G; Roder, I; Scharf, S; Hanus-Illnar A.** Monitoring atmospheric pollutants in the biosphere reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements, *Chemosphere*, (2007): 67. 1956-1966.
- **Krupnick A.J; Harrington W; Ostro B.** Ambient Ozone and Acute Health Effects: Evidence from Daily Data. *J Environ Econ Manage* (1990) 18: 1-18 p.
- **Laatra M ; Chenini H. 2013.** Etude comparative entre deux plantes (*Typha latifolia* et *Phragmites Australis*) à accumuler le zinc (Zn). Université Mohamed Khider – Biskra.
- **Lacour S. 2001.** Cours de pollution atmosphérique Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique France.
- **Lagadic L. T ; Caquet J.C ; Amiard. 1997a.** Biomarqueurs en écotoxicologie.Aspects
- **Lagadic, L ; Caquet, T ; Amiard, J-C ; Ramade, F. 1998.** Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Paris : TEC&DOC. 307p.

- **Le Bouffant, L. 1988.** Pollution Atmosphérique par les Aérosols Solides et Liquides. Techniques de l'Ingénieur, Analyses Chimiques et Caractérisation « Mesure et Analyse ».5000p.
- **Leblond, S ; Boucher, A. 2011.** Initiation à la bryologie : voyage au cœur de la vie secrète des mousses. 43p.
- **Leblond, S. 2004.** Etude pluridisciplinaire du transfert des métaux de l'atmosphère vers les mousses (*Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr.) : Suivi sur un site rural (Vouzon, France). Thèse de doctorat en Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement, Université Paris 7 - Denis Diderot. 212 p.
- **Legret, M ; Divet, L ; Juste, C.** Migration et Spéciation des Métaux Lourds dans un Sol soumis à des Epanrages de Boues de Station d'Epuration. Water Res. (1988) 22 : 953-959
- **Logan, T; Traina S.** Trace metals in agricultural soils. In Metals in groundwater. ed: Lewis Publishers. (1993): 309-347.
- **Lopez, J; Carballeira, A..** Interspecific differences in metal bioaccumulation and plant-water concentration ratios in five aquatic bryophytes. *Hydrobiologia*, (1993) 263(2): 95-107.
- **Lopez, J; Retuerto, R; Carballeira, A.** D665/D665a index vs frequencies as indicators of bryophyte response to physicochemical gradients. *Ecology*, (1997) 78(1): 261-271.
- **Loppi, S; Giomarelli, B; Bargagli, R.** Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in a geothermal area (Mt. Amiata, central Italy). *Cryptogamie, Mycol*, (1999) 20 (2): 119-126.
- **Loppi S., Frati L., Paoli L., Bigagli V., Rossetti C., Bruscoli C. et Corsini A. 2004.** Biodiversity of epiphytic lichens and heavy metals contents of Flavoparmeliacaperatathalli as indicators of temporal variations of air pollution in the town of Montecatini Terme (central Italy), *Science of the Total Environment*, 326, p. 113-122.
- **Loué A. 1993.** Oligoelements en agriculture. Editions Nathan, 577 p.
- **Maatoug, M ; Hellal, B ; Dellal, A ; Ayad, N ; Bourbatach, M.** Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). Pollution atmosphérique – Octobre-Décembre N°196 : 385-394(2007).
- **Maatoug, M ; Medkour, K ; Ait Hammou, M ; Ayad, N.** Cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière à l'aide de la transplantation d'un lichen

bioaccumulateur *xanthoria parietina* dans la ville de Tiaret (Algérie). (2010). Pollution atmosphérique - Janvier-Mars N°205 : 93-101.

- **Maatoug M ; Ait Hammou M ; Sarmoum M.** Intérêt de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique pour les pays en émergence. Exemple de l'Algérie. Interest of vegetal biomonitoring for air quality in emerging countries: Algeria example. *pollution atmosphérique* - numéro spécial - décembre (2011) : 71-76.
- **Maatoug, M; Taïbi, K; Akermi, A; Achir, M and Mestrari, M.** Bio-Monitoring of Air Quality Using Leaves of Tree and Lichens in Urban Environments, Chapter of Hand book *Air Pollution - Monitoring, Modelling and Health, Dr. Mukesh Khare (Ed Intech. 2012): 223-244.*
- **Madany, I. M; Ali, S.M; Akhter, M.S.** Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain. *Environment International* (1990) 16: 123-6.
- **Maherou, J ; Norest, S ; Ferrer, L.** Les métaux lourds, quels risques pour la santé ? ASEF « Association Santé Environnement France ». (2013)
- **Mäkinen, A. 1994.** Biomonitoring of Atmospheric Deposition in the Kola Peninsula (Russia) and Finnish Lapland Based on the Chemical Analysis of Mosses. Ministry of the Environment Rapport 4: 1-83.
- **Malandrino, M; Aceto, M; Abollino, O; Mentasti, E.** The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Inc.Focus on Environmental Research* (2006): 133-171.
- **Malbreil, N. 1997.** La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation. DESS Ressources Naturelles et Environnement., Université de Metz., CETE de l'Est, 56.
- **Manneville, O ; Fourier J.** Les bryophytes : mousses, sphaignes, hépatiques Particularités et cycles biologiques, divers groupes, écologie Olivier - UJF Grenoble, Janvier (2011) :10p.
- **Marcheoiné, A. 1996.** Transport, énergie, environnement : modes de vie et comportements. Note ADEME, paris.
- **Martin, C. E; Churchill, S. P.** Chlorophyll concentrations and a/b ratios in mosses collected from exposed and shaded habitats in Kansas. *Journal of Bryology* (1982) 12: 297-304.
- **McBride, M; Sauvé, S; Hendershot, W.H.** Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *Eur. J. Soil Sci.*, (1997) 48 : 337-346.
- **McLean, R.O. et Jones, A.K., 1975.** Studies of tolerance to heavy metals in the flora of the rivers Ystwyth and Clarach, Wales. *Freshwater Biology*, 5: 431-444.

- **Menkes, D.B ; Fawcett J.P.** Too easily lead? Health effects of gasoline additives. *Environ Health Perspect*, (1997) 105: 270-273 .
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.** www.mate.gov.dz (consultation : 2010).
- **Miquel, G. 2001.** Rapport sur les Effets des Métaux Lourds sur l'Environnement et la Santé. Assemblée Nationale Française, N°2979, Paris, 366p.
- **Monnet-Tschudi F, Zurich MG, Boschhat C, Corbaz A, Honegger P.** Involvement of environmental mercury and lead in the etiology of neurodegenerative diseases ; *Rev Environ Health*. (2006) 21(2):105-17.
- **Mouvet, C. et al. , 1986.** Dosage de PCBs et de métaux lourds dans les mousses aquatiques de la Seine entre Melun et Port Jérôme, Laboratoire d'écologie- Université de Metz Agence financière de bassin Seine/Normandie, Metz.
- **Mouvet, C., 1979.** Utilisation des bryophytes pour l'étude de la pollution des écosystèmes par les métaux lourds et les radioéléments. *Revue de Biologie et d'Ecologie méditerranéenne*, 6(3-4): 193-204.
- **Mouvet, C., 1984.** Métaux lourds et mousses aquatiques. Spéciations physico-chimiques, bioaccumulation et toxicité, Université de Liège, Belgique, 157 pp.
- **Mouvet, C. 1986.** Métaux lourds et mousses : Synthèse méthodologique, Université de Metz, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Metz.
- **Naftal. 2013. Professeur spécialiste en Pneumologie, chef de Service à l'hôpital Mustapha Damardji Tiaret.** communication Communication personnelle Tiaret. le 12-06- 2013.
- **Nafti, S. 2013.** Professeur en pneumologie hopital Mostapha Bacha. 3^{ème} journée de pneumologie En raison de la pollution : Huit millions d'Algériens souffrent d'affections respiratoires. (2013).
- **Nejjari, C ; Filleul, L ; Zidouni, N ; Laid, Y ; Atek, M ; El Meziane, A ; Tessier, J. F.** La pollution atmosphérique un nouveau risque respiratoire pour les villes du sud. *INT J TUBERC LUNG DIS* (2003) 7(3) : 223-231.
- **Nérome, S ; Quoix, É; Duburecq, A ; Housset, B; Huchon, G. 2005.** Air, pollution et cancer.17p.
- **Nriagu J.O.** Cadmium in the aquatic environment. *John Wiley & Sons Inc.*, New York, (1987) 272 p.

- **Office National des Statistiques ONS (Algérie), 1998** : www.ons.dz (consultation : 1998).
- **Office National des Statistiques ONS (Algérie), 2015** : www.ons.dz (consultation : 2015).
- **Økland R. H; Steinnes E; Økland T.** Element concentrations in the boreal forest moss, *Hylocomium splendens*: variation due to segment size, branching patterns and pigmentation. *Journal of Bryology* (1997) 19: 671-684.
- **Økland T; Økland R. H; Steinnes E.** Element concentrations in the boreal forest moss *Hylocomium splendens*: variation related to gradients in vegetation and local environmental factors. *Plant and Soil* (1999) 209: 71-83.
- **Onianwa P. C.** Monitoring atmospheric metal pollution: A review of the use of mosses as indicators. *Environmental Monitoring and Assessment* (2001) 71(1): 13-50.
- **Organisation Mondiale de la Santé (OMS). 2014.** Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé. Aide-mémoire N°313
- **Ozenda, 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Ed Doin Paris 431p.
- **Ozenda, 1990.** Les organismes végétaux 1. Végétaux inférieurs. Ed Masson, Paris. 219p.
- **Pagotto C.** Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat : chimie et microbiologie de l'eau : sciences et techniques. université de Poitier (1999) : 252 p.
- **Palmieri R.M., La Pera L., Di Bella G. et Dugo G. (2005).** Simultaneous determination of Cd(II), Cu(II), Pb(II) and Zn(II) by derivative stripping chronopotentiometry in *Pittosporum tobira* leaves: a measurement of local atmospheric pollution in Messina (Sicily, Italy), *Chemosphere*, 59, p. 1161-1168.
- **Persicani, D ; Gasparetti, G; Siro, P; Bonvini, M.** Measurement and simulation of atrazine and alachlor leaching into two field soils. *J. Contam, Hydrol.* (1995) 19: 127-144.
- **Pesch R. et Schröder W.** Integrative exposure assessment through classification and regression trees on bioaccumulation of metals, related sampling site characteristics and regions, *Ecologicalinformatics*, (2006) 1: 55-65.
- **Petiot, C.** Mosses, Liver worts and Horn worts of Kenya. *Tropical Bryology* (2003)12. 273p.
- **Pickering, D.C; Puia, I.L.,** Mechanism for the uptake of zinc by *Fontinalis antipyretica*. *Physiologia plantarum*, (1969) 22: 653-661.
- **Pierre M. 2000.** Pollution Atmosphérique : Causes, Conséquences et Solutions. Ed. Ellipses, Paris, 213p.

- **Pignata M.L., Gudino G.L., Wannaz E.D., Pla R.R., Gonzalez C.M., Carreras H.A. et Orellana L. (2002).** Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsiacapillaris* as a biomonitor, *Environmental Pollution*, 120, p. 59-68.
- **Planquart, P; Bonin, G; Prone, A; Massiani, C.** Distribution, movement and plant availability of trace metals in soils amended with sewage sludge composts: application to low metal loadings. *Sci. Tot. Envir.* (1999) 24: 161–179.
- **Post, A.R; McCall, D.S; Askew, S.D.** Biological control of silvery threadmoss (*Bryum argenteum*) a weed problem of golf course putting greens and nursery crops. *Phytopathology* (2011). 101: 144.
- **Proctor, M. C. F.** The bryophyte paradox: Tolerance of desiccation, evasion of drought. *Plant Ecology* (2000) 151: 41-49.
- **PRQA. 2007.** (Plan Régional de la Qualité de l’Air) la région de REUNION. S’assurer de la représentativité des mesures de la Qualité de l’Air sur le plan spatial et temporel, 80-81p.
- **Ramade F. 1982.** Elément d’écologie appliquée. Ed.MC Graw Hill. 452 p.
- **Ramade F. 1993.** Dictionnaire Encyclopédique de l’Ecologie et des Sciences de l’Environnement., ed : Edisciences international. 822p.
- **Ramade F. 2003.** Eléments d’écologie. Ecologie fondamentale ; cours. Paris : Dunod. 690p.
- **Ramade F., 2007.** Introduction à l'Eco-toxicologie Fondements et Applications. Ed. TEC/DOC., Lavoisier, Paris, 618 p.
- **Rao, D.N. 1984.** Response of Bryophytes to Air Pollution. Smith, AJE (Eds.), Chapman and Hall, London, pp.445-471.
- **Rhue, R.D; Mansell, R.S; Tang S.R; Ouyang, Y.** The fate and behavior of lead alkyls in the environment: a review. *Crit Rev Environ Control.* (1992) 22 : 169-193 p.
- **Ross, H.B.** On the Use of the Mosses *Hylocomium Splendens* and *Pleurozium schreberi* for Estimating Atmospheric Trace Metal Deposition. *Water, Air and Soil Poll.* (1990) 50: 63-76.
- **Rossini Oliva S ; Mingorance M.D.** Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts, *Chemosphere*, (2006) 65: 177-182.
- **Roul D, 1998.** Etude des conditions météorologiques de Biriatoú : analyse des paramètres météorologiques influençant les concentrations en polluants autour du site. Maîtrise : Sciences et Techniques : "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances" : Université de Pau et des Pays de l'Adour, Météo France Pau-Uzein, Pau. 19 p.

- **Rühling A; Tyler G.** Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. *Oikos* (1970) 21: 92-97.
- **Rzepka, M-A ; Cuny, D.** Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. (2008). *Air Pur* N° 75 - Deuxième semestre : 66-78.
- **Salines G ; Boudet C.** Biosurveillance, écosurveillance. *Environnement Risque Santé* 2011 ; 10 : 417-8.
- **Salo H; Bucko M; Vaahtovuori E; Jukka L; Mäkinen ; Pesonen L.J.** Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and lichens, *Journal of Geochemical Exploration* (2012): 37.
- **Samecka-Cymerman A; Kempers A.J; Kolon, K. 2000.** Concentrations of heavy metals in aquatic bryophytes used for biomonitoring in rhyolite and trachybasalt areas: a case study.
- **Say, P. J; Whitton, B. A.** Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 1: *Fontinalis antipyretica* Hedw. *Hydrobiologia* (1983) 100: 245-260.
- **Sbargoud, A ; Brahimi, A.** Diagnostic environnemental de la gare routière de Tizi-Ouzou : Détection de la pollution métallique d'origine Automobile. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2011) : 80p + Annexes.
- **Scal-Air.** Actualités : L'information sur la qualité de l'air. (2010) N° 7 juillet - décembre
- **Semadi, A ; Deruelle, S.** Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution Atmosphérique* octobre-décembre (1993) : 86-101.
- **Services des cartes grises de la wilaya de Tiaret. 2015.** Communication personnelle 2015.
- **Services des forêts de la wilaya de Tiaret. 2009.** Communication personnelle 2009.
- **Setra ; Mazoue, S. 1994.** Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport Setra - Cstr N° B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement. 67 p.
- **Shaheen, D.G.** Contributions of Urban Roadway Usage to Water Pollution. 600/2-75-004. U.S. *Environmental Protection Agency*. 1975.
- **Shaw A.J., Albright D.L.** Potential for the evolution of heavy metal tolerance in *Bryum argenteum*, a moss. II. generalized tolerances among diverse populations. *Bryologist*. (1990). 93: 187-192.
- **Sivertsen, B. 2011.** Air Quality Monitoring Dakar: Assessment and management. Atelier final du projet Qualité de l'Air à Dakar, Dakar, 18 et 19 mars 2011

- **Smith A.J.E.** The moss flora of Britain and Ireland. Cambridge *University Press*, Cambridge, (1978): 706.
- **Sobovljević, M; Vukojević, V; Sobovljević, A; Mihajlović, N; Dražić, G; Vučinić, Ž.** Determination of heavy metal deposition in the county of Obrenovac (Serbia) using mosses as bioindicators. III. Copper (Cu), iron (Fe) and mercury (Hg). *Archives of Biological Sciences* (2007) 59: 351–361.
- **Stark L.R., McLetchie D.N., Eppley S.M.** Sex ratios and the shy male hypothesis in the moss *Bryum argenteum* (Bryaceae). *Bryologist*, (2010) 113: 788–797.
- **Stephanie, L. 2005 :** Cours de pollution atmosphérique Inventaires d'émissions, Centre d'Enseignement et de Recherche sur Atmosphérique, 47P.
- **Steinnes, E. In Some Aspects of Biomonitoring of Air Pollutants Using Mosses as Illustrated by the 1976 Norwegian Survey. Markert B(ed), VHC, Weinheim, (1993): 381-394.**
- **Stieb, D.M; Beveridge, R.C; Brook J.R; Smith-Doiron, M; Burnett, R.T; Dales, R.E; Beaulieu, S; Mamedov, A.** Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada. *J Exposure Anal Env Epidemiol:* (2000) 10: 461–477 p.
- **Sucharova J. etSuchara I.** Atmospheric deposition levels of chosen elements in the Czech Republic determined in the framework of the International Bryomonitoring Program 1995, *The Science of the Total Environment*, (1998) 223: 37-52.
- **Sylvain, T.** Construction et validation de modèles cinétiques détaillés pour la combustion de mélanges modèles des essences ; thèse doctorale Spécialité, Université de Nancy , (2005) : 227p + Annexes.
- **Thöni L; Schnyder N; Krieg F.** Comparison of metal concentrations in three species of mosses and metal freights in bulk precipitations. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* (1996) 354: 703-708.
- **Tomasevic M., Vukmirovic Z., Rajsic S., Tasic M. etStevanovic B.** Characterisation of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area, *Chemosphere* (2005) 61: 753-760.
- **Tyler, G.** Bryophytes and heavy metals: a litterature review. *Botanical Journal of the Linnean Society* (1990) 104: 231-253.
- **URBATIAT. 2013.** Communication personnelle le 10- 06- 2013.

- **Vukovic, G ; Anicic Urosevic, M; Tomasevic, M; Samson, R; Popovic, A.** Biomagnetic monitoring of urban air pollution using moss bags (*Sphagnum girgensohnii*). *Ecological Indicators* (2015) 52: 40 - 47.
- **Walter, I; Cuevas, G.** Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application. *The Sci. of the Total Environ.* (1999) 226:113 – 119.
- **Wehr, J.D; Whitton B.A.** Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. Seasonal changes. *Hydrobiologia*, (1983_b) 100: 285-291.
- **Whitton B.A; Say P.J; Jupp B.P.** Accumulation of zinc, cadmium and lead by the aquatic liverwort *Scapania* . *Environmental Pollution* (serie b), (1982) 3: 299-316.
- **Whitton, B.A; Say P.J.** Heavy metals. In: B.A. Whitton (Editor), *River Ecology. Blackwell Sci. Publ.*, Oxford, (1975): 286-311.
- **Witting, R.** General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: Markert, B. (Ed), *Plants as Biomonitors*. VCH, Weinheim, Germany, (1993): 3 27.
- **Zechmeister H. G; Grodzinska K; Szarek-Lukaszewska G.** Bryophytes. Bioindicators and biomonitors. Amsterdam, Elsevier (2003a): 329-375.
- **Zechmeister H. G; Hohenwallner D; Riss A; Hanus-Illnar A.** Variations in heavy metal concentrations in the moss species *Abietinella abietina* (Hedw.) Fleisch. according to sampling time, within site variability and increase in biomass. *The Science of the Total Environment* (2003b) 301: 55-65.
- **Zechmeister, H.G.** Correlation between altitude and heavy metal deposition in Alps. *Environmental Pollution* (1995) 89: 73-80.
- **Zerrouki, D.** Phytoremédiation d'un sol agricole contaminé par les métaux lourds (Pb, Zn et Cu) en milieu routier à l'aide de l'orge *Hordeum vulgare.L* et de tournesol *Helianthus annus.L*. (2013) thèse doctorat. Université Djillali Liabes. 197p.

Biblio net

Webmaster1 : *World weather- Local weather Forecast* (page consultée le 15/01/2015).

Adresse URL : [http : // www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)