

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 :

Mr BERRAYAH MOHAMMED

Spécialité : Sciences de L'Environnement

Option : Environnement

Intitulée

Biosurveillance de la qualité de l'air à l'aide des lichens et de mousses dans le groupement urbain de Tlemcen

Soutenu 30/05/2016

Devant l'honorable jury composé de :

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

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

Dr BACHIR-BOUIADJRA S.E..... (M.C.A, UDL/ SBA)

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

Co-Directeur de thèse : Pr HELLAL Benchaben..... (Professeur, Univ. Tiaret)

Année universitaire 2015 – 2016

DEDICACES

A la mémoire de ma mère qui a consacré toute sa vie pour parfaire à mon éducation et mon bien ;

A mon père pour son amour et patience qu'il a toujours manifesté à mon égard. Qu'il trouve ici le témoignage de mon grand respect et ma gratitude.

A ma femme ;

A mes enfants, Meriem, Oussama et Yousra ;

A mes frères et sœurs ;

A mes gendres ;

A mes belles sœurs ;

A tous mes collègues ;

A mon ami intime Azaoui ;

A toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma reconnaissance et mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce modeste travail.

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de ma gratitude.

Je remercie très cordialement Monsieur. MAATOUG M., Professeur au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret pour avoir bien voulu diriger ce travail, pour ses précieux conseils et ses encouragements. Ses conseils et remarques m'ont été très bénéfiques.

J'adresse un remerciement particulier à mon co-directeur de thèse Pr HELLAL B, pour son assistance et ses orientations instructives lors de la réalisation de ce travail.

Je tiens également à remercier Messieurs :

BENYAHIA M. Professeur à l'université de Sidi Bel Abbes, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le Jury.

Mr. AMIRAT M. Maître de conférence à l'université de Tiaret et Mr Dr BACHIR-BOUIADJRA S.E .Maître de conférence à l'université de Sidi Bel Abbes, d'avoir bien voulu examiner ce travail.

Toute ma reconnaissance et ma gratitude vont à l'ensemble du personnel du parc national de Tlemcen et Theniet El Had.

Je tiens a remercié également le personnel du laboratoire d'écologie végétale de la faculté des sciences de la nature et de la vie.

Je remercie vivement Ait Hamou Azzaoui, Neggadi, Dahmani, Soudani, Kadri, Hamrelaine, Hechemi, Beladgham. L, Beneddine, Berrayah. A pour leur et leur assistance sur terrain et au laboratoire tout le long de ce travail.

Je remercie le personnel de la bibliothèque de la faculté SNV et à leur tête Mr Ait Amrane Abdselem pour son aide précieuse et la mise à ma disposition une riche documentation.

Je remercie les membres de l'association pour la protection de l'environnement de la wilaya de Tlemcen (ASPEWIT) et le personnel de l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire (ANAT) délégation régionale de Tlemcen.

Je remercie également monsieur Jean Pierre Garrec et madame Christine Garrec pour leur assistance, leur soutien et leur accueil au niveau du laboratoire Pollution Atmosphérique de Nancy.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé :

L'évaluation de l'intensité de la pollution *via* l'accumulation d'éléments polluants de l'atmosphère par les organismes vivants constitue une technique environnementale très efficace, utilisée depuis plusieurs décennies. La mesure de l'accumulation dans ces organismes permet de pallier les difficultés rencontrées lors de mesures physico-chimiques directes, souvent très complexes et coûteuses.

Par leurs caractéristiques physiologiques et morphologiques, les mousses et les lichens s'avèrent très efficaces pour répondre à cette problématique notamment leur capacité à accumuler les contaminants en l'occurrence les éléments traces métalliques tels que le plomb.

L'objectif de ce travail consiste à mesurer et cartographier les concentrations en plomb, zinc et cuivre d'origine routière dans les différentes entités urbaines de la ville de Tlemcen et sa périphérie en utilisant une espèce de mousse et deux espèces de lichens. Les résultats obtenus montrent clairement de fortes teneurs en Plomb dans les thalles des trois espèces, ce qui traduit un fort taux de pollution au niveau de ville. Afin d'apprécier la répartition spatiale de cette pollution et son impact environnemental en milieu urbain, il a été élaboré une série de cartes de pollution pour chaque espèce.

Mots-clés : trafic routier, pollution, Plomb, mousses, lichens, cartographie, Tlemcen, Algérie.

Abstract :

The evaluation of degree of pollution through accumulation of pollutants of the atmosphere by living organisms, is very effective environmental technical. Measuring the accumulation in these organisms makes it possible to overcome the difficulties encountered in direct physicochemical measurements, often very complex and expensive. For their physiological and morphological characteristics, mosses and lichens are very effective in their ability to bioaccumulate trace metal elements.

The objective of this work is to measure lead concentrations roadside origin in different urban entities of the city of Tlemcen using a moss species and two species of leafy lichens. The results show high levels of lead in the fronds of the three species, indicating a high pollution levels in the city. To appreciate the spatial distribution of this pollution and its impact on the environment, it was elaborated a series of pollution maps for each species.

Keywords :

Road traffic, pollution, lead, foam, lichens, cartography, Tlemcen, Algeria

ملخص :

ان تقييم حدة التلوث البيئي بواسطة تراكم العناصر الملوثة في الجو باستعمال الكائنات الحية المستعملة منذ عشرات السنين. ان قياس التراكم في هذه الكائنات يمكن من تجاوز الصعوبات الملقاة باستعمال الطرق الفزيائية والكيميائية المباشرة التي تعد غالبا معقدة وباهظة الثمن.

ان الخصائص الفيزيولوجية والخارجية للطحالب والاشنة اثبتت فعاليتها وخاصة بقدرتها على تراكم الملوثات وخاصة المعادن الثقيلة مثل الرصاص، الزنك والنحاس.

تهدف هذه الدراسة الى قياس التركيزات من المعادن الثقيلة الناتجة عن حركة المرور في مدينة تلمسان وضواحيها وذلك باستعمال صنف من الطحالب وصنفان من الاشنة الورقية.

ان النتائج المتحصل عليها يبين بشكل واضح نسب تركيز جد عالية بالنسبة للمعادن الثلاثة (الرصاص، الزنك والنحاس) لكامل الأصناف المستعملة.

وهذا وان دل على شيء فإنما يدل على نسبة التلوث العالية في مدينة تلمسان وخاصة وسط المدينة والاحياء المحاذية له.

من اجل اظهار وابرار كمية التلوث في مدينة تلمسان الكبرى قمنا بإجراء عدة خرائط لنسبة التلوث بالنسبة لكل صنف مستعمل.

الكلمات المفتاحية: حركة المرور، التلوث، المعادن الثقيلة، طحالب، أشنة، تلمسان، الجزائر

TABLE DES MATIERES

Dédications	II
Remerciements	III
Résumé	IV
Table des Matières.....	VI
Liste des Abréviations	XI
Liste des Tableaux.....	XII
Liste des Figures	XIV
Introduction Générale	02

Première Partie : Etude bibliographique

1.1. Généralités sur l'Atmosphère.....	06
1.1.1. Définition de l'atmosphère.....	06
1.1.2 Structure et Composition de l'atmosphère.....	06
1.2. Généralités sur la Pollution.....	07
1.2.1. Définition de la pollution atmosphérique.....	08
1.3. Les différentes échelles de pollution.....	10
1.3.1. L'échelle locale.....	11
1.3.2. L'échelle régionale.....	11
1.3.3. L'échelle globale.....	11
1.4. Les sources de pollution.....	11
1.4.1. Les sources d'origine naturelle.....	11
1.4.2. Les sources d'origine anthropique.....	11
1.5. Les principaux polluants atmosphériques.....	12
1.5.1. Les polluants primaires.....	12
1.5.2. Les polluants secondaires.....	15
1.6. Conséquences de la pollution atmosphérique.....	16
1.7. Les élément Traces Métalliques.....	17
1.7.1. Présentation de quelques ETM.....	18
1.7.1.1. Le Plomb.....	18
1.7.1.2. Le Zinc et Cadmium.....	18

1.7.1.3. Le cuivre.....	18
1.8. Les paramètres influençant la pollution atmosphérique.....	18
1.8.1. Le vent.....	18
1.8.2. La température et le rayonnement.....	18
1.8.3. L'humidité.....	19
1.8.4. Les précipitations.....	19
1.8.5. La pression atmosphérique.....	19
1.8.6. La topographie locale.....	19
1.8.7. L'inversion de la température.....	20
1.9. Les différents types de pollution en milieu urbain.....	20
1.9.1. La pollution temporaire.....	20
1.9.2. La pollution accidentelle.....	20
1.9.3. La pollution chronique.....	20
1.9.4. La pollution saisonnière.....	21
1.10. Les impacts de la pollution atmosphérique.....	21
1.10.1. Les impacts sur la santé	21
1.10.2. L'impact sur les végétaux.....	22
1.10.3. L'impact sur le patrimoine.....	22
1.10.4. Le déséquilibre des écosystèmes.....	22
1.10.5. L'impact sur environnement.....	22
1.10.6. Les impacts à l'échelle planétaire.....	23
1.10.6.1. Les pluies acides.....	23
1.10.6.2. L'effet de serre.....	23
1.10.6.3. La Création de smogs.....	24
1.10.6.4. Le trou dans la couche d'ozone.....	24
1.10.6.5. Les changements climatiques	24

Chapitre II : La biosurveillance de la qualité de l'air

2.1. Définitions et concepts.....	27
2.2. Stratégie de mise en œuvre de la bio-surveillance.....	27

2.2.1. La méthode <i>in situ</i>	28
2.2.2. La méthode des transplants	28
2.3. Organismes utilisés dans la biosurveillance.....	30
2.3.1. Biosurveillance par les lichens.....	30
2.3.2. Biosurveillance par les mousses.....	31
2.3.3. Biosurveillance par les écorces.....	32
2.3.4. Avantages et limites de la biosurveillance.....	33

Chapitre III : Etude des Lichens

3.1. Définition	36
3.2. Caractères morphologiques du thalle lichénique.....	36
3.3. Les principaux organes portés par le thalle.....	39
3.4. Critères écologiques des lichens.....	39
3.4.1. Classification des lichens suivant leur substrat.....	40
3.4.2. Les facteurs du milieu.....	40
3.4.2.1. Les facteurs biotiques.....	40
3.5. Reproduction des lichens.....	41
3.6. Intérêt des lichens.....	41

Chapitre IV : Etude des Mousses

4.1. Classification des bryophytes.....	45
4.1.1. Les hépatiques	45
4.1.2. Les anthocérotes.....	45
4.1.3. Les mousses	46
4.2. Morphologie des mousses.....	46
4.3. Ecologie des mousses.....	47
4.3.1. L'eau.....	47
4.3.2. La lumière.....	47
4.3.3. La température.....	47
4.4. Rôle et intérêt des mousses.....	48
4.5. Utilisation des mousses en biosurveillance.....	48
4.5.1. Pollution de l'air.....	48
4.5.2. Pollution de l'eau.....	49

Deuxième Partie : Etude Expérimentale

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

1.1. Le cadre géographique.....	51
1.2. Caractéristiques générales du groupement de Tlemcen.....	55
1.2.1. Le milieu physique.....	55
1.2.2. Le climat.....	57
1.2.2.1. Les Précipitations.....	57
1.2.2.2. Les températures.....	58
1.2.2.3. Indice de continentalité	60
1.2.2.4. Indice d'aridité de Martone	60
1.2.2.5. Indice xérothermique d'Emberger	61
1.2.2.6. Quotient pluviométrique d'Emberger.....	61
1.2.2.7. Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen	62
1.2.2.8. Le vent	62
1.2.3. Le cadre humain.....	64
1.2.4. le réseau routier.....	64
1.2.5. Transport et Circulation.....	66
1.2.6. Le parc automobile.....	68
1.2.7. Les enjeux environnementaux.....	68

Chapitre II. Le protocole expérimental

2.1. Technique de transplantation.....	72
2.2. Choix du site de prélèvement.....	73
2.3. Choix des espèces transplantées.....	74
2.4. Caractérisation des espèces transplantées	75
2.4.1. <i>Xanthoria parietina</i>	75
2.4.2. <i>Parmelia sulcata</i>	76
2.4.3. <i>Bryum argenteum</i>	77
2.5. Traitement des échantillons au laboratoire.....	80
2.5.1. Déshydratation.....	80

2.5.2. Broyage.....	80
2.5.3. Calcination.....	80
2.5.4. Minéralisation et mise en solution.....	81
2.5.5. Dosage des échantillons.....	82

Chapitre III. Résultats et interprétations

3.1. Étude de la variabilité des teneurs en éléments traces métalliques	84
3.1.1. Les lichens.....	84
3.1.1.1. Le lichen <i>Xanthoria parietina</i>	84
3.1.1.2. Le lichen <i>Parmelia sulcata</i>	90
3.1.2. La mousse <i>Bryum argenteum</i>	95
3.2. Cartographie de la pollution.....	102
3.2.1. Cas du plomb.....	103
3.2.2. Cas du zinc.....	107
3.2.3. cas du cuivre.....	111
3.3. Effet de la pollution générée par les éléments traces métalliques.....	115
3.4. Effet des éléments traces métallique sur la santé humaine.....	115
Conclusion générale et perspectives	117

Références bibliographiques

Liste des Abréviations

ANAT : Agence Nationale d'Aménagement du Territoire

ANDI : Agence Nationale pour le Développement des Investissement

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CERTU : Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques

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

CFC : Chloro-Fluoro-Carbone

COV : Composés Organiques Volatiles

CW : Chemin de Wilaya

ETM : Eléments Traces Métalliques

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONS : Office National des Statistiques

PCB : Poly-Chloro-Biphényle (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

PS : Particules en Suspension

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

RN : Route Nationale

SAA : Spectroscopie à Absorption Atomique

TSP : Particules Totales en Suspension

Liste des Tableaux

- Tableau N° 01 : Composition standard de l'atmosphère.....24
- Tableau N° 02 : Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère.....26
- Tableau N° 03 : Tableau périodique des éléments34
- Tableau N° 04 : Impact des métaux sur la santé humaine.....42
- Tableau N° 05 : Comparaison entre la méthode in situ et la méthode des transplants46
- Tableau N° 6 : Répartition des moyennes mensuelles des précipitations (1913 - 1938)..74
- Tableau N° 7 : Répartition des moyennes mensuelles des précipitation (1980- 2015).....74
- Tableau N° 8 : Variation saisonnières des précipitations.....74
- Tableau N° 9 : Répartition des moyennes mensuelles des Températures (1913 - 1938)..75
- Tableau N° 10 : Répartition des moyennes mensuelles des Températures (1913 - 1938)..75
- Tableau N° 11 : Moyennes des températures du mois chaud « M » et du mois le plus froid (m).....76
- Tableau N° 12 : Indice de continentalité.....76
- Tableau N° 13 : Indice de Martone.....77
- Tableau N° 14 : Indice xérothermique d'Emberger.....77
- Tableau N° 15 : Quotients pluviothermique D'EMBERGER et de STEWART.....78
- Tableau N° 16 : Consistance du réseau routier du groupement.....81
- Tableau N° 17 : Caractéristiques du réseau urbain.....81
- Tableau N° 18 : Réseau et offre de transport urbain groupement.....83

- Tableau N° 19 : Statistique descriptive des classes de pollution en plomb du lichen *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....100
- Tableau N° 20 : Statistique descriptive des classes de pollution en zinc du lichen *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....102
- Tableau N° 21 : Statistique descriptive des classes de pollution en cuivre du lichen *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....104
- Tableau N° 22 : Statistique descriptive des classes de pollution en Plomb du lichen *Parmelia sulcata* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....106
- Tableau N° 23 : Statistique descriptive des classes de pollution en zinc du lichen *Parmelia sulcata* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....107
- Tableau N° 24 : Statistique descriptive des classes de pollution en cuivre du lichen *Parmelia sulcata* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....109
- Tableau N° 25 : Statistique descriptive des classes de pollution en plomb de la mousse *Bryum argenteum*111
- Tableau N° 26 : Statistique descriptive des classes de pollution en zinc de la mousse *Bryum argenteum* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....113
- Tableau N° 27 : Statistique descriptive des classes de pollution en cuivre de la mousse *Bryum argenteum* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique.....114

Liste des figures

• Figure N° 01 : Structure verticale de l'atmosphère	23
• Figure N° 02 : Émission, transport et dépôt des métaux sous forme particulaire.....	29
• Figure N° 03 : Les différents cycles biogéochimiques en relation avec l'atmosphère.....	30
• Figure N° 04 : La formation des principaux polluants atmosphériques.....	33
• Figure N° 05 : Coupe verticale à travers le corps d'un lichen.....	53
• Figure N° 06 : Lichen crustacé.....	54
• Figure N° 07 : Lichen foliacé.....	54
• Figure N° 08 : lichen fruticuleux.....	55
• Figure N° 09 : La wilaya de Tlemcen à l'échelle nationale.....	67
• Figure N° 10 : Limites administratives de la wilaya de Tlemcen.....	68
• Figure N° 11 : Tlemcen dans son ensemble régional.....	69
• Figure N° 12 : Limites administratives du groupement de Tlemcen.....	70
• Figure N° 13 : Carte des pentes du groupement.....	72
• Figure N° 14 : Carte de risques technologiques et industriels.....	85
• Figure N° 15 : <i>Xanthoria parietina</i>	90
• Figure N° 16 : <i>Parmelia sulcata</i>	92
• Figure N° 17 : <i>Bryum argenteum</i>	93
• Figure N° 18 : Broyage des lichens.....	95
• Figure N° 19 : évaporation des échantillons dans le bain de sable.....	96
• Figure N° 20 : Mise en solution des échantillons.....	97

- Figure N° 21 : Classes de pollution en plomb selon la classification automatique des données dans le lichen *Xanthoria parietina*.....99
- Figure N° 22 : Classes de pollution en zinc selon la classification automatique des données dans le lichen *Xanthoria parietina*101
- Figure N° 23 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution dans le lichen *Xanthoria parietina*.....103
- Figure N° 24 : Classes de pollution en cuivre selon la classification automatique des données dans le lichen *Xanthoria parietina*.....104
- Figure N° 25 : Teneurs en cuivre dans les différentes classes de pollution du lichen *Xanthoria parietina*.....105
- Figure N° 26 : Classes de pollution en plomb selon la classification automatique des données dans le lichen *Parmelia sulcata*.....106
- Figure N° 27 : Classes de pollution en zinc selon la classification automatique des données dans le lichen *Parmelia sulcata*.....107
- Figure N° 28 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution dans le lichen *Parmelia sulcata*.....108
- Figure N° 29 : Classes de pollution en cuivre selon la classification automatique des données dans le lichen *Parmelia sulcata*.....109
- Figure N° 30: Teneurs en cuivre dans les différentes classes de pollution dans le lichen *Parmelia sulcata*.....110
- Figure N° 31 : Classes de pollution en plomb selon la classification automatique des données dans la mousse *bryum argenteum*.....111
- Figure N°32 : Classes de pollution en cuivre selon la classification automatique des données dans la mousse *bryum argenteum*.....114
- Figure N° 33 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution dans la mousse *Bryum argenteum*114
- Figure 34 : Teneurs en cuivre dans les différentes classes de pollution dans la mousse *Bryum argenteum*.....115

- Figure N° 35 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière du lichen *Xanthoria parietina*.....118
- Figure N° 35 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière du lichen *Parmelia sulcata*.....119
- Figure N° 36 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière de l'espèce de mousse *Bryum argenteum*.....120
- Figure N° 37 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière du lichen *Xanthoria parietina*.....122
- Figure N° 38 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière du lichen *Parmelia sulcata*.....123
- Figure N° 39 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière de l'espèce de mousse *Bryum argenteum*.....124
- Figure N°40 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière du lichen *Xanthoria parietina*.....126
- Figure N° 41 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière du lichen *Parmelia sulcata*.....127
- Figure N° 42 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière de l'espèce de mousse *Bryum argenteum*.....129

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Depuis le début du siècle dernier, les émissions anthropiques vers l'atmosphère se sont intensifiées et diversifiées. De nombreux éléments chimiques sont suspectés d'impacter durablement l'environnement en dérégulant les grands cycles biogéochimiques (Pedro, 2007). La complexité de la pollution atmosphérique réside dans les sources variées tant naturelles qu'anthropiques, qu'elles soient ponctuelles ou diffuses. En fait, L'atmosphère constitue une machine chimique avec une grande réactivité entre les différents constituants. De plus, la dispersion atmosphérique permet de transporter les contaminants des sites locaux jusqu'aux régions les plus reculées *via* le transport longue distance (Garty, 2001).

De ce fait il serait nécessaire d'adopter des stratégies pour réduire les émissions anthropiques afin de limiter les impacts sur l'environnement.

De nombreux efforts ont été réalisés pour réduire les concentrations de certains polluants tels que le dioxyde de soufre (SO₂) et certains métaux lourds (Pb, Hg, et Cd.).

Les organismes vivants sont connus pour témoigner des conditions environnementales selon leur sensibilité. Il s'agit de bio surveillance, ou surveillance biologique, en utilisant les espèces animales ou végétales les plus sensibles face aux polluants recherchés dans leur milieu environnant. Les lichens et les mousses sont considérés comme de bons exemples pour évaluer la pollution atmosphérique (Garrec et van Haluwyn, 2002). Plusieurs approches sont proposées selon l'échelle d'observation considérée (Markert et al., 2003). Ainsi, on distingue, l'échelle écologique par la réponse biologique des individus (bioindication) ou des communautés (biointégration), de l'échelle géochimique par l'accumulation de contaminant (bioaccumulation).

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

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.

Surveiller la qualité de l'environnement est primordial pour identifier tout danger potentiel pour la santé humaine ou les écosystèmes et mener les actions préventives ou curatives appropriées. L'intérêt de la biosurveillance pour l'évaluation de la qualité de l'environnement n'est plus à démontrer. Complémentaires des méthodes physico-chimiques,

les méthodes biologiques normalisées permettent de connaître l'impact des contaminants sur le vivant, en informant sur les effets biologiques et écotoxicologiques et sur les risques pesant sur les écosystèmes.

L'utilisation des mousses et des lichens comme bioaccumulateurs d'éléments traces métalliques a donné des résultats impressionnants au cours des 40 dernières années dans différentes parties du monde au vue des différents travaux réalisés (Rühling, et al., 1969, Tyler, 1990, Grodzinska et al., 1990, Thoni et al.,1996, Gerdoll et al., 2000, Fernandez et al.,2002, Garrec,2002, Malandrino et al., 2006).

Pour le cas de l'Algérie, des travaux scientifiques ont été réalisés pour déterminer les concentrations des substances chimiques nocives pour les végétaux des milieux urbains. Ainsi, plusieurs chercheurs ont démontré que les plantes et les animaux sensibles, peuvent être de véritables bioindicateurs de pollution. L'utilisation de la bioindication s'avère très utiles dans les agglomérations urbaines réputées à forte pollution. Les approches appliquées ont consisté à doser les éléments traces métalliques (Pb, Cd Zn, Cu, etc.) dans les thalles du lichen *Xanthoria parietina* dans différents sites de quelques agglomérations algériennes (Samadi, 1993 ; Rahali, 2003 ; Maatoug, 2010).

Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (2010) considère que 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 directs et particulièrement néfastes pour la santé humaine. ils ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques et parfois sévères chez les populations urbaines des grandes villes (Maatoug et al., 2011). Le plomb, le zinc et le cuivre représentent une bonne partie de ces polluants par leur caractère toxiques même en très petites concentrations (Chiffolleau et al., 2001 ; Casas, 2005).

L'objectif de ce travail consiste à évaluer les concentrations en plomb d'origine routière et d'établir une cartographie de la pollution à l'aide d'une espèce de mousses *Bryum argenteum* et deux espèces de lichens foliacés, *Xanthoria parietina* et *Parmelia sulcata* transplantées dans divers sites du périmètre urbain de la ville de Tlemcen.

Pour mener à terme ce travail, le contenu de cette thèse a été articulé autour de deux parties principales.

Une partie bibliographique subdivisée en trois chapitres :

Le premier chapitre traite de la pollution atmosphérique et les principaux polluants ;

Le deuxième chapitre étudie la biosurveillance de la qualité de l'air et ses différentes répercussions.

Le troisième chapitre s'intéresse à l'étude des lichens et des mousses.

La deuxième partie quant à elle, représente la partie expérimentale. Elle est subdivisée également en trois chapitres qui exposent respectivement la zone d'étude, le protocole expérimental et les résultats et discussions.

PREMIERE PARTIE :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Pollution atmosphérique

1. 1. Généralités sur l'Atmosphère

1.1.1. Définition de l'atmosphère

L'atmosphère est l'ensemble de l'enveloppe gazeuse entourant la surface terrestre. Elle formée par plusieurs couches qui sont la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère (figure N° 01). La quasi-totalité de la masse atmosphérique (90%) est concentrée dans la partie basse de l'atmosphère (inferieur à 16km) (**Triplet et roche, 1986**).

La troposphère varie fortement en épaisseur de 7 kilomètre au niveau des pôles jusqu'à 18 km au niveau de l'équateur et est de 13 km à notre latitude. Cette partie de l'atmosphère est nommé la troposphère et contient entre autres la biosphère.

A l'intérieur de la troposphère, on peut effectuer une distinction entre deux sous-couches qui sont la couche limite et la troposphère libre.

La couche limite à une épaisseur de l'ordre de 01 km. Elle est définie par l'influence directe qu'exerce la surface du sol, en particulier au niveau des échanges thermiques et des vents.

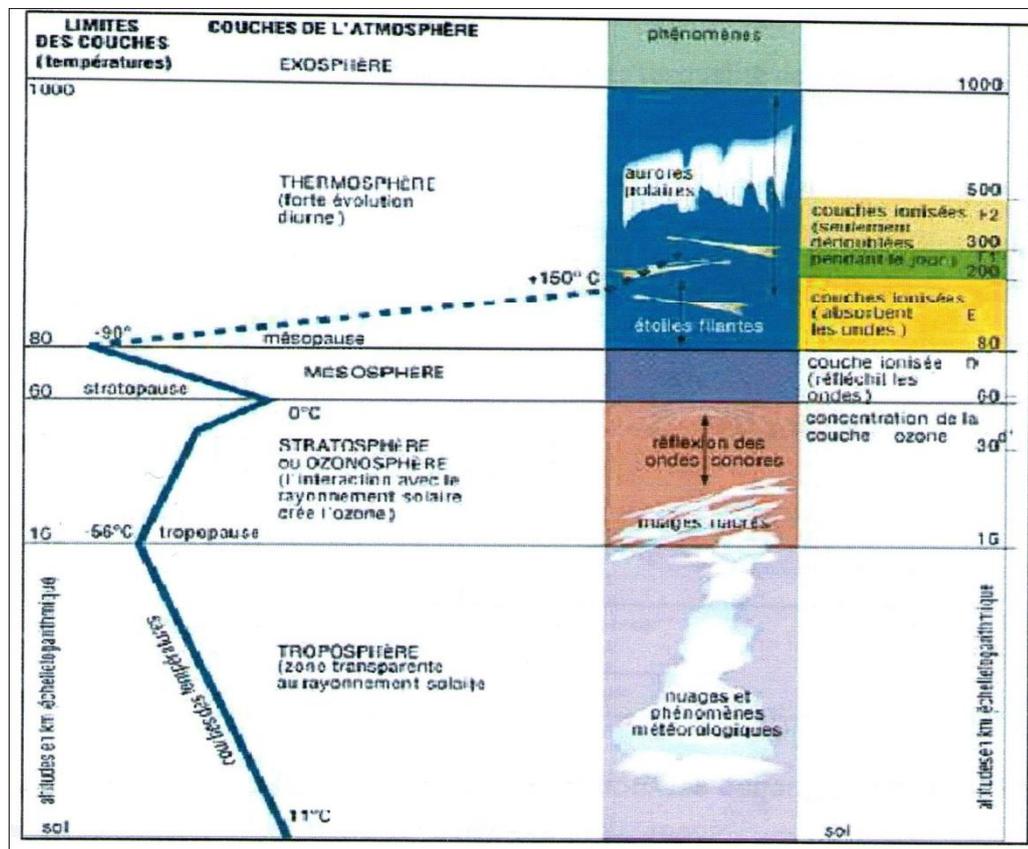


Figure N°01 : Structure verticale de l'atmosphère (Philippe, 2008)

1.1.2 Structure et Composition de l'atmosphère

L'évaluation de la composition standard de l'atmosphère telle que établie par Molina, (1996) est résumé dans le tableau N°1.

Tableau N° 01 : Composition standard de l'atmosphère

Gaz	% en volume
Azote	78
Oxygène	21
Argon	0.93
Eau	0.005
Dioxyde de carbone	$365 \cdot 10^{-4}$
Néon	$19 \cdot 10^{-4}$
Ozone	$0.01 \cdot 10^{-4}$
Hélium	$5.2 \cdot 10^{-4}$
Méthane	$1.7 \cdot 10^{-4}$
Krypton	$1.1 \cdot 10^{-4}$
Xénon	$900 \cdot 10^{-7}$
Hydrogène	$500 \cdot 10^{-7}$
Oxyde nitreux	$320 \cdot 10^{-7}$
Oxyde de carbone	$200-300 \cdot 10^{-7}$

Selon (**Cruutzen et al, 1998**), même les composés à l'état de traces sont capables d'influencer fortement les équilibres chimiques et photochimiques de l'atmosphère. La présence et la concentration de ces composés dépendent de la combinaison des conditions climatiques (conditions synoptiques et rayonnement solaire) et la situation géographique.

1.2. Généralités sur la Pollution

Le compartiment atmosphérique, comme tout autre compartiment naturel tel que l'hydrosphère, la lithosphère ou la biosphère, participe au stockage et au transfert des éléments chimiques au sein des grands cycles biogéochimiques (Pédro, 2007 ; Rauch et Pacyna, 2009). De nombreuses substances chimiques émises par les activités humaines – les contaminants – sont susceptibles d'y être introduites et peuvent altérer drastiquement le milieu dans lequel elles se trouvent : réactions chimiques néfastes, effets écotoxiques, perturbation des cycles biogéochimiques ; on parle alors de polluants. Il est communément admis que les émissions polluantes n'ont cessé de croître depuis plusieurs siècles, jusqu'à atteindre un paroxysme il y a quelques décennies.

En effet, c'est au cours des années 1960 que les scientifiques ont fait le lien entre émissions anthropiques et conséquences environnementales. Les premières émissions suspectées ont été les émissions industrielles de SO₂, tenues pour responsables de l'acidification des précipitations et de celle des milieux lacustres aux effets délétères sur la

biodiversité (Gorham, 1957 ; Odén, 1967). En ce sens, il est impératif de déterminer les niveaux de contamination auxquels sont soumis les populations et les écosystèmes et d'en réduire les sources principales.

Seulement, la part locale n'est pas toujours la seule incriminée : le transport atmosphérique longue distance permet le déplacement de polluants des zones les plus contaminées des pays fortement industrialisés vers les régions les plus éloignées de toute source de pollution jusqu'en Antarctique (Rosman *et al.*, 1994 ; Wolff *et al.*, 1999 ; Lee *et al.*, 2008). Outre les paramètres météorologiques de dispersion horizontale et verticale, les contaminants atmosphériques sont entraînés sur les surfaces terrestres (continentales et océaniques) par les retombées sous forme de dépôts, ayant de nombreuses conséquences aiguës et chroniques pour la biosphère, une fois intégrés dans les écosystèmes. En effet, la contribution atmosphérique en azote et en éléments traces est une voie d'entrée non négligeable dans les réseaux trophiques (Ulrich et Pankrath, 1983). Une région donnée étant soumise à un ensemble de retombées atmosphériques provenant d'origines multiples, la discrimination de ces différentes sources en sera d'autant plus complexe.

1.2.1. Définition de pollution atmosphérique

Est qualifié de pollution atmosphérique, toute introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives (**LAURE, 1996**).

«Polluer » signifie étymologiquement, profaner, salir, souiller et dégrader selon (**Ramade, 1982**).

Il donne également une définition plus pertinente qui consiste à : « 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 » (Ramade, 2007).

Le conseil de l'Europe (1967) considère qu'il y'a pollution, 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.

Pour sa part l'organisation mondiale de la santé (OMS, 2000), 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 agrément.

Pour ce qui est de l'Algérie, la pollution atmosphérique a abordée et définie sur le plan règlementaire par deux lois :

- La loi n° 83-03 relative à la protection de l'environnement du 05 février 1983 ;

- Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable du 19 juillet 2003.

« La Pollution de l'Atmosphère est 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 ».

Ramade (1982) considère également, 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, mais, compromet aussi l'avenir de l'humanité en dilapidant des ressources naturelles irremplaçables notamment celles qui conditionnent la productivité agricole des divers écosystèmes continentaux.

Stéphanie (2001) a défini les ordres de grandeurs de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants :

**Tableau N°2 : durée de vie indicative de certaines substances
polluantes dans l'atmosphère**

Substances	Polluants
CH ₄	Une Année
CO	Quelques Mois
SO ₂	Quelques jours
Ozone	Quelques heures à quelques jours
COV	Quelques heures à quelques jours
Aérosols 1-10 µm	Quelques minutes à quelques jours
Aerosols 1µm	Quelques Jours à quelques semaines

**Tableau N° 03 : Les principaux polluants atmosphériques
Réglementés en Algérie**

	objectif de qualité	valeur limite	seuil d'information	seuil d'alerte
Le Dioxyde d'Azote NO2	135 micro grammes/Nm3	200 micro grammes/Nm3 (centile 98)	400 micro grammes/Nm3	600 micro grammes/Nm3
Le Dioxyde de Soufre SO2	150 micro grammes/Nm3	350 micro grammes/Nm3 (centile 99,9)	350 micro grammes/Nm3	600 micro grammes/Nm3
l'Ozone O3	110 micro grammes/Nm3	200 micro grammes/Nm3	180 micro grammes/Nm3	360 micro grammes/Nm3
les particules fines en suspension	50 micro grammes/Nm3	80 micro grammes/Nm3.	/	

- **Objectifs de qualité:** Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement, à atteindre dans une période donnée.
- **Seuil d'information :** Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles
- **Valeur limite :** Un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques
- **Seuil d'alerte :** Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement.

1.3. Les différentes échelles de pollution

L'étude de la pollution atmosphérique peut être perçue selon trois grandes échelles spatio-temporelles. Ces échelles sont en fonction du transport des polluants et par conséquent de leur durée de vie qui dépend de la stabilité des substances chimiques.

1.3.1. L'échelle locale : rue, quartier, ville (un diamètre moyen de 10 m à 10km)

Il s'agit des pollutions rencontrées au voisinage direct des sources d'émissions comme les foyers industriels, la combustion, les axes de circulation, le chauffage domestique, l'incinération des déchets, les incendies, etc. Ces sources engendrent des pollutions de proximité et des nuisances olfactives à des distances inférieures à quelques km. Elles participent à une pollution urbaine de fond (TSAGUE, 2009).

1.3.2. L'échelle régionale (un diamètre moyen de 100km)

La pollution régionale touche des zones distantes de quelques kilomètres (autour des grandes agglomérations) des sources d'émission de pollution. Les polluants réagissent chimiquement entre eux ou avec des particules présentes dans l'air en fonction de leurs concentrations qui dépendent des conditions météorologiques. Cette pollution prend principalement trois formes : l'acidification, la pollution photochimique et l'eutrophisation (TSAGUE, 2009).

1.3.3. L'échelle globale (environ un diamètre de 1000 Km)

A l'échelle globale (planétaire), la pollution se manifeste par deux phénomènes : la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et la création d'une couche d'ozone supplémentaire au niveau de la troposphère, qui contribue à l'augmentation de l'effet de serre. Certains polluants ont des durées de vie si grandes qu'ils s'accumulent dans des couches hautes de l'atmosphère et bouleversent le climat. Toutes les sources de pollution participent à la pollution atmosphérique. Lors de la combustion, l'énergie est produite et des grandes quantités de produits chimiques sont libérées dans les gaz d'échappement, notamment le CO₂, CO, NOX et SO₂, créant ainsi une altération de la qualité de l'air (TSAGUE, 2009).

1.4. Les sources de pollution

L'atmosphère renferme, à côté des éléments de base, une quantité variable de substances naturelles provenant de sources très diverses qui, dépassant un seuil, créent une source de pollution (Mouaïci, 2002).

1.4.1. Les sources d'origine naturelle

- Les feux des forêts.
- Les volcans émettent des gaz H₂O, SO₂ et particules des cendres.
- Les végétaux émetteurs de pollen et de spores.
- L'homme et les animaux qui rejettent le CO₂.
- L'ozone naturel.

1.4.2. Les sources d'origine anthropique

Elles sont liées aux activités industrielles, au transport et à l'agriculture, notamment (Ernst et Van Damme, 1983). On peut distinguer :

- la combustion des combustibles fossiles tels que le pétrole et le charbon dans l'industrie, le chauffage et les transports (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) ;

- L'extraction de minerais (As, Fe, Ni) ;
- la métallurgie (industries du fer et de l'acier, ex: Pb, Cd, Ni ; et des métaux non ferreux : As, Cd),
- L'incinération des déchets ménagers (Hg, Pb, Cd...), les engrais et les pesticides (Cd, Cu, As, Hg).

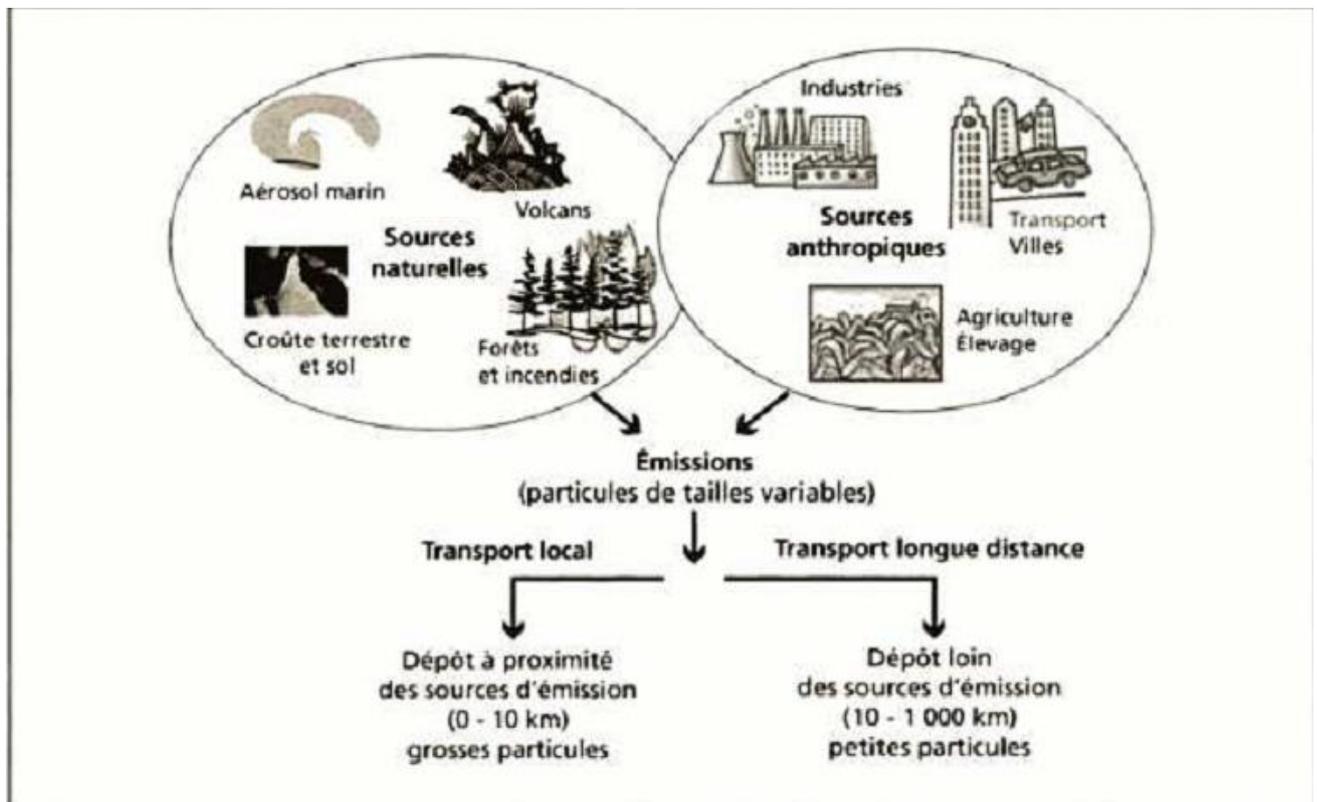


Figure N° 02 : Emission, transport et dépôt des métaux sous forme particulaire.

(Gombert et al., 2005)

1.5. Les principaux polluants atmosphériques

1.5.1. Les polluants primaires :

Les polluants primaires sont ceux qui proviennent directement d'une source polluante identifiée, tels que le monoxyde de carbone provenant des processus de combustion et présent dans les gaz d'échappement des voitures et le dioxyde de soufre qui provient des procédés industriels (Mayer, 1999).

➤ Le Dioxyde de soufre (SO₂) :

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).

➤ **Monoxyde de carbone (CO) :**

Gaz inodore, incolore et inflammable, le Monoxyde de Carbone est un produit de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants) (Bell, et al., 2009). Sa source principale est le trafic automobile. Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand un moteur tourne au ralenti dans un espace clos ou en cas d'embouteillages dans des espaces couverts, ainsi qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique. Le CO participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone CO₂ et contribue à l'effet de serre.

➤ **Les oxydes d'azote :**

Ils rassemblent le monoxyde d'azote(NO) et le dioxyde d'azote(NO₂). Ils sont émis par les véhicules à moteurs ainsi que par les installations de combustion industrielles. Le NO se transforme, en présence d'oxygène, en NO₂ (VINCENT ,2000).

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

Le dioxyde d'azote, un gaz généré par combustion, est largement présent dans l'intérieur et les environnements extérieurs. Il provient principalement de combustible à haute température, combustion des moteurs, l'industrie et la production d'électricité (Viegi, 2004).Le NO₂ est très toxique pour l'homme, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper activité bronchique.

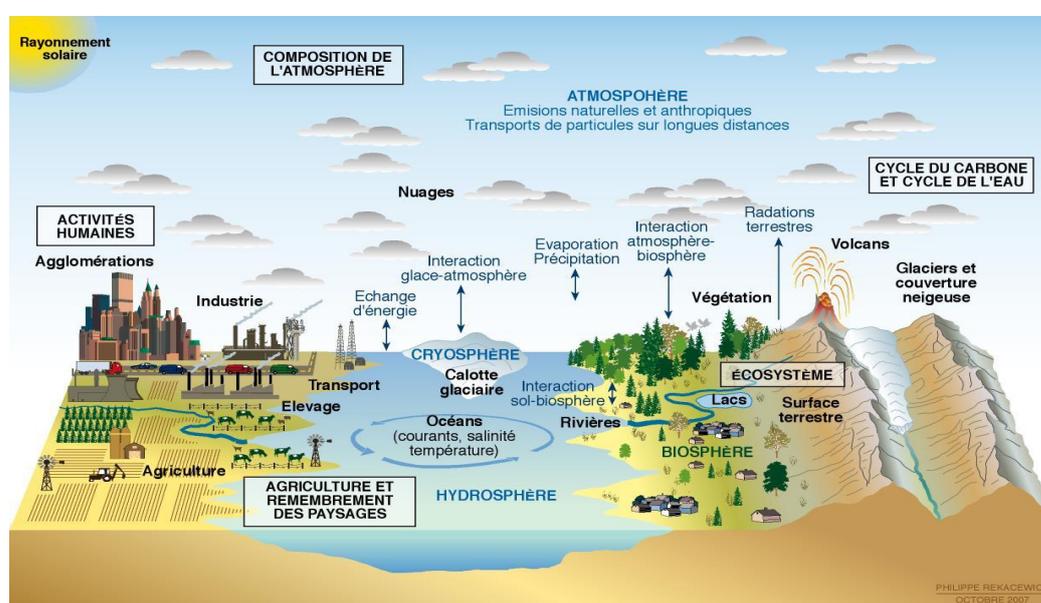


Figure N° 03 : Les différents cycles biogéochimiques en relation avec l'atmosphère

➤ Composés organiques

• Composés organique volatils (COV)

Il s'agit d'hydrocarbures (évaporation des bacs de stockage pétroliers, remplissage des réservoirs automobiles), de composés organiques (procédés industriels ou de la combustion incomplète des combustibles), de solvant, de composés organiques émis par l'agriculture et par le milieu naturel. Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère (ANTHONY, 2003).

• Hydrocarbure aromatique polycycliques (HAP)

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont une série d'hydrocarbures dont les atomes de carbone sont disposés en anneaux fermés (benzénique) unis les uns aux autres sous forme de groupes (4 à 7 noyaux benzéniques). Ce sont des polluants ubiquitaires formés à partir de la combustion de combustibles fossiles, la production de poudre industrielle, l'incinération, la production de l'asphalte, de goudron de houille, le pétrole craquage catalytique et de la production d'aluminium primaire (OMS, 2003). Ces composés sont générés par la combustion de matières fossiles (notamment par les moteurs diesels) sous forme gazeuse ou particulaire. Les HAP proviennent essentiellement de phénomènes de pyrolyse-pyrosynthèse de la matière organique (combustibles fossiles, bois ...), ainsi que d'imbrûlés. Le phénomène d'émissions de HAP provenant d'imbrûlés de la matière organique est prévisible, étant données les quantités de HAP déjà présentes dans les différents combustibles.

• **(BTEX)** : regroupent entre autre le Benzène, Toluène, Ethylbenzène et xylènes. Ils sont des hydrocarbures imbrûlés (MALBREIL ,1997), les BTEX sont très dangereux pour la santé (S.F.S.P ; 1996).

Le benzène est l'un des plus dangereux polluants de l'air intérieur. Ses effets sur la santé sont particulièrement nocifs. Il est d'ailleurs reconnu pour être hautement cancérigène. Il s'agit d'un hydrocarbure liquide, contenu dans le pétrole brut et le goudron de houille. Il est incolore et particulièrement odorant. Aussi appelé benzol, il fait partie de la famille des COV (Composant Organique Volatile). Il est donc très volatil et très mobil. Le benzène peut se produire naturellement par combustion incomplète de composés riches en carbone. C'est le cas lors d'un incendie de forêt, ou dans les volcans en activité. Il est aussi largement produit par l'industrie pétrochimique et plasturgique. Le benzène est d'autant plus dangereux qu'il est toxique mais aussi inflammable.

Les émissions de benzène diminuent sensiblement avec un pot catalytique (DEGOBERT, 1992).

• Polychlorobiphényle (PCB)

Sont des composés aromatiques organochlorés non biodégradables. Il s'agit généralement de substances très toxiques. Les PCB sont présents dans les huiles, l'essence et le gasoil sous forme gazeuse et particulaire (Granier et Al, 1991).

➤ **Chlorofluorocarbones(CFC)**

Les CFC (Chlorofluorocarbones), ou fréon, sont totalement artificiels (à l'exception du chlorure de méthyle d'origine marine). Ce sont des agents destructeurs de l'ozone stratosphérique. A la suite d'accords internationaux, la production de ces substances, qui participent à l'effet de serre, est désormais très fortement réduite voire interdite pour la plupart, mais leur durée de vie (de 60 à 110 ans environ, selon les composés) fait que les quantités présentes dans l'atmosphère vont continuer d'agir encore pendant un certain temps. Ils étaient encore utilisés dans les systèmes de climatisation des voitures, notamment les CFC -11 et CFC -12 (Vincent, 2003).

➤ **Particules en suspension (PM)**

Ce sont des microparticules, de la taille du micromètre (μm , un million de fois plus petit qu'un mètre) ne sont pas visibles à l'œil nu.

- 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

1.5.2. Les polluants secondaires :

Ils sont produits dans l'atmosphère par interaction entre différents polluants primaires ou réaction entre les polluants et les constituants normaux de l'atmosphère, avec ou sans activation photochimique (Degobert, 1992). A titre d'exemple, on peut citer le cas de l'ozone qui résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV.

Certains polluants dits précurseurs d'ozone, tel que les oxydes d'azote et les composés organiques volatils se transforment sous l'action du rayonnement solaire et donnent naissance à l'Ozone, dont les concentrations maximales surviennent lorsque les températures et l'ensoleillement sont élevés. En Février 2002, le Parlement européen a approuvé une directive (2002/3 / CE) qui indique le "seuil d'information" ($180 \mu\text{g} / \text{m}^3$) et "seuil d'alerte" ($360 \mu\text{g} / \text{m}^3$).

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.

On distingue également le mauvais ozone troposphérique (10% de l'ozone). C'est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il contribue aux pluies acides ainsi qu'à l'effet serre (Anthony, 2003).

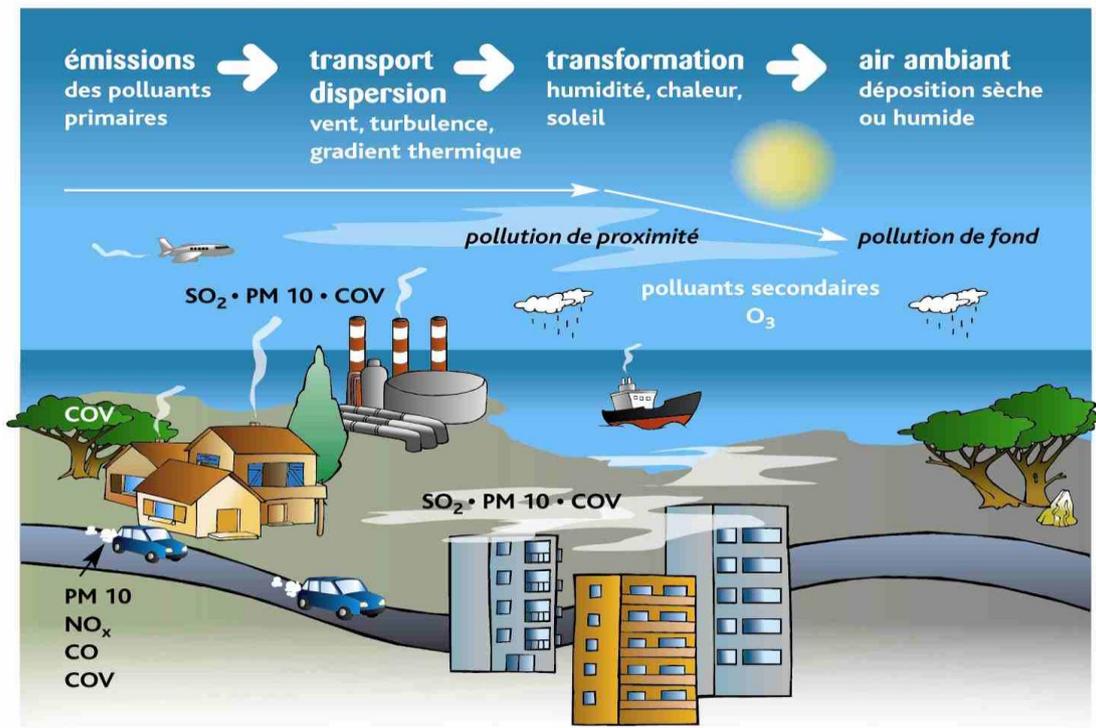


Figure N° 4 : La formation des principaux polluants atmosphériques (Airfobep, 2015)

1.6. Conséquences de la pollution atmosphérique

Les risques de la pollution atmosphérique sont considérables à la fois au niveau local, régional et planétaire. Au cours des années 1960, les scientifiques ont fait le lien entre émissions anthropiques et conséquences environnementales. Les premières émissions suspectées ont été les émissions industrielles de SO₂, tenues pour responsables de l'acidification des précipitations et de celle des milieux lacustres aux effets délétères sur la biodiversité (Gorham, 1957 ; Odén, 1967). Tous d'abord, il est nécessaire de déterminer les moyens et les sources de contamination auxquels les différents écosystèmes sont soumis. Le transport atmosphérique longue distance permet le déplacement de polluants des zones les plus contaminées vers les régions les plus éloignées de toute source de pollution jusqu'en Antarctique (Rosman et al. ,1994 et Wolff et al. ,1999 et Lee et al. ,2008).

Sous l'effet des oxydes d'azote (NOX) et du dioxyde de soufre (SO2), les pluies, neiges et brouillards deviennent plus acides et altèrent les écosystèmes. Une pluie est dite acide lorsque son PH est inférieur à 5,6. Ces pluies ont pour conséquence, l'acidification des sols et des eaux de surface, la solubilisation des métaux toxiques et destructions des forêts.

L'agriculture, l'industrie et les transports émettent des polluants gazeux tels que le gaz carbonique et le méthane. Ces gaz s'accumulent dans l'atmosphère et retiennent davantage de chaleur qu'à l'état naturel. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre « additionnel », qui provoque un réchauffement accru de l'atmosphère et dérègle nos climats (RAC-F, 2011).

Les émissions de certains composés dits halogénés ont la cause principale de la destruction de la couche d'ozone. Ces particules réduisent le pouvoir filtrant de la couche d'ozone située entre 19 et 30 km d'altitude. Ce phénomène entraîne un accroissement des rayonnements UV-B arrivant sur la planète. Ces rayonnements ont également un effet sur la santé de l'homme car ils entraînent des cancers de la peau (Fan et al, 2009).

1.7. Les éléments Traces Métalliques

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer (Stéphanie ,2011). Ces métaux sont actuellement désignés par le terme d'éléments traces métalliques.

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

Tableau N° 3 : Tableau périodique des éléments

Bloc S												Bloc p						
H		■ Métaux lourds de densité > 5															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	Tc	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		

1.7.1. Présentation de quelques ETM

1.7.1.1. Le Plomb

Le plomb est un métal mou, gris, brillant qui se ternit à l'air. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au groupe IV b de la classification périodique des éléments. Le Plomb est assez abondant dans la croûte terrestre où sa concentration moyenne est comprise entre 10 et 20 mg/kg (Garnier, 2005). Il est très rare à l'état natif mais beaucoup plus répandu sous différentes formes : sulfures et leurs produits d'altération, halogénures et oxyhalogénures, arsenic et anti mono sulfures, oxydes, carbonates et silicates. Le Plomb est principalement extrait à partir de la galène (Sulfure de plomb : PbS).

Le plomb et ses dérivés sont émis en permanence dans l'atmosphère, dans les eaux et dans les sols, par le biais d'émissions atmosphériques. Ces dernières sont d'origine naturelle et surtout anthropique (Derache, 1986).

1.7.1.2. Le Zinc et Cadmium

Sont produits par l'usure des pièces mécaniques, galvanisées, des pneumatiques, piles, batteries et des lubrifiants, ils sont issus également de la dégradation des glissières de sécurité (Malbreil, 1997).

1.7.1.3 . Le cuivre

Provient majoritairement de l'usure des caténaires induites par le trafic ferroviaire. Le traitement des déchets et la combustion constituent à des degrés divers les principales sources émettrices de cuivre.

1.8. Les paramètres influençant la pollution atmosphérique

La qualité de l'air est liée aux conditions météorologiques : on distingue les mouvements horizontaux, c'est-à-dire les vents et les mouvements verticaux, les ascendances, les pluies et la température qui sont des facteurs météorologiques importants. Elle est également liée aux conditions topographiques et morphologiques du milieu.

1.8.1. Le vent

De manière très schématique (en faisant abstraction de l'influence des mouvements terrestres et de la rugosité de la surface du globe), le vent est un mouvement d'air visant à rétablir l'équilibre entre les zones de haute pression (les anticyclones) et les zones de basse pression (les dépressions).

C'est un facteur essentiel expliquant la dispersion de l'émission polluante. Le vent intervient tant par sa direction pour orienter les émissions dans une direction que par sa vitesse pour les diluer. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. En revanche, lorsque les vents sont faibles, le poids de l'influence du relief local est fort et des brises apparaissent au gré des contrastes thermiques. (Roul, 1998, Durrieu, 1999).

1.8.2. La température et le rayonnement

Ces deux paramètres, fortement corrélés, agissent sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que le rayonnement estival est favorable aux réactions photochimiques.

La température d'une masse d'air varie en fonction de l'altitude car les gaz qui la compose possèdent une énergie interne, l'énergie cinétique qui dépend de la pression et qui commande leur état thermique : comprimés ils s'échauffent, soumis à une détente ils se refroidissent (**Estienne et Godard, 1993**)

Cependant, la relation qui lie la température d'une masse d'air s'élevant (et dont la pression baisse) varie selon le degré d'humidité de l'air, mais reste linéaire.

1.8.3. L'humidité

Un des principaux est le « captage » des particules polluantes par les gouttelettes d'eau en suspension. En retenant les polluants, elles accroissent leur stagnation et peuvent finir par concentrer ces substances, ce qui n'est pas sans conséquences en montagnes, où pluies et brouillards sont plus fréquents (**Dambrine et al, 2001**).

De même, la nébulosité, en relation avec l'humidité de l'air joue un rôle en réduisant le rayonnement solaire et limitant ainsi un peu la photochimie

1.8.4. Les précipitations

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). (**P.R.Q.A, 2007**)

1.8.5. La pression atmosphérique

Une basse pression atmosphérique indique une situation dépressionnaire et par conséquent, une turbulence de l'air assez forte, ce qui favorise la dispersion des substances polluantes et améliore la qualité de l'air (**P.R.Q.A, 2007**).

1.8.6. La topographie locale

La surface terrestre et à l'origine de turbulence atmosphérique au niveau de la sous-couche rugueuse. Ces turbulences peuvent être soit, d'origine thermique (due à l'instabilité thermique des masses d'air) ou, d'origine mécanique (due aux obstacles présents à la surface). Les perturbations de l'air entraînant une dispersion des polluants, peuvent s'étendre verticalement jusqu'à trois fois la hauteur de l'obstacle, et horizontalement jusqu'à quarante fois la hauteur dans la zone sous l'influence du vent (**Troen et Ptersen, 1989**). D'une manière générale, c'est la taille, la forme, la densité des obstacles et leur environnement qui conditionnent l'écoulement de l'air à la surface, leur temps de résidence et les échanges avec la couche limite. Ainsi dans une rue isolée et ventilée, le temps de résidence d'une masse d'air est de quelque seconde seulement (**Anthony, 2003**).

1.8.7. L'inversion de la température :

Les polluants sont dispersés par les vents, dissous par les pluies ou bloqués lorsque l'atmosphère est stable. Ainsi, les périodes anticycloniques caractérisées par un temps calme, avec un vent faible, accompagné parfois d'une inversion de température en hiver, concourent à une augmentation rapide de la concentration de polluants au niveau du sol. En situation normale, la température de l'air diminue avec l'altitude. L'air chaud contenant les polluants tend à s'élever naturellement.

Les polluants se dispersent verticalement en situation d'inversion de la température. Le sol se refroidit de façon importante pendant la nuit (par exemple, l'hiver par temps clair). La température à quelques centaines de mètres d'altitude est alors supérieure à celle mesurée au niveau du sol. Les polluants se trouvent ainsi bloqués sous un « couvercle » d'air chaud, appelé couche d'inversion (**Coparly, 2001**).

1.9. Les différents types de pollution en milieu urbain

Différents types de pollution peuvent être à l'origine de nuisances en milieu routier et urbain, elles se classent en quatre grandes catégories (**S.E.T.R.A, 1995**).

1.9.1. La pollution temporaire

La pollution temporaire est liée aux travaux de construction des routes (poussières rejets d'huile d'engins etc.). Cette pollution n'est pas toujours prise en considération du fait de son caractère ponctuel et antérieur à la mise en service de la route (**SETRAA-CSTR, 1991**).

1.9.2. La pollution accidentelle

La pollution accidentelle est consécutive à un accident de la circulation au cours duquel des matières dangereuses transportées sont déversées avec des conséquences plus ou moins graves selon la nature et la quantité du produit mis en jeu et la sensibilité du milieu récepteur.

La pollution accidentelle implique le plus souvent le transport des hydrocarbures du fait de son caractère aléatoire et peu probable. Il est souvent très difficile de la prendre en compte ce type de pollution (**Balam, 2007**).

1.9.3. 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 (l'huile moteur, antigel). L'usure de la chaussée et la corrosion des glissières de sécurité participent à cette pollution (**SETRA-CSTRA, 1991**).

1.9.4. La pollution saisonnière

La pollution saisonnière est liée à la maintenance des infrastructures routière (entretien hivernal, désherbage des bas-côtés). Ces opérations sont nécessaires au maintien de bonnes conditions de circulation et nécessitent l'emploi des 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 glissière). Ils interagissent directement avec les polluants (SETRA-CSTRA, 1991).

1.10. Les impacts de la pollution atmosphérique

Bien que la concentration des polluants soit très faible dans l'atmosphère, les polluants ont des conséquences préjudiciables sur la santé et l'environnement.

1.10.1. Les impacts sur la santé :

Les impacts de la pollution atmosphérique sont d'abord d'ordre sanitaire. Elle touche en premier lieu les personnes les plus fragiles, notamment les jeunes enfants, les personnes âgées et les asthmatiques. Elle affecte d'abord les fonctions respiratoires et cardiaques mais sur le long terme peuvent également se rajouter des effets cancérogènes (Nicolas et al, 2002).

Selon les travaux de nombreuses études, les polluants atmosphériques pénètrent dans l'organisme par 3 voies possibles (Mckone 2010).

- les voies respiratoires (par inhalation)

La majorité des gaz atteint les alvéoles pulmonaires. Les particules quant à elles, y pénètrent plus ou moins selon leur taille.

- Les voies digestives :

Par ingestion d'aliments contaminés par retombées des polluants sur le sol et dans l'eau. (Dioxine issue de certains processus de combustion que l'on retrouve dans le lait de vache, pesticides, métaux lourds).

- Les voies cutanées :

Concerne quelques produits toxiques tels que les insecticides qui peuvent traverser la peau pour pénétrer dans l'organisme et provoquer des pathologies.

D'une manière générale, les principaux effets d'une atmosphère polluée sur la santé humaine sont les suivants :

- Gènes et nuisances par des odeurs et fumées incommodantes ;
- Irritations des yeux et des voies respiratoires ;
- Altération des fonctions pulmonaires ;
- Susceptibilité accrue aux allergènes et à certaines infections ;
- Augmentation de la fréquence des crises d'asthme ;
- Maladies des voies respiratoires, particulièrement la bronchite chronique, et des affections aiguës ;
- Augmentation du risque de maladies cardio-vasculaires et du cancer du poumon ;
- Trouble du système nerveux central et altération enzymatiques,

1.10.2. L'impact sur les végétaux

A certaines concentrations les polluants atmosphériques peuvent provoquer des nécroses visibles sur les végétaux comme le brunissement des feuilles (fluor ou l'ozone par exemple). Il est même possible de constater une réduction de la croissance des plantes sans qu'il n'y ait de dommages visibles. Les effets sont variables d'une espèce à une autre en fonction des polluants. A titre d'exemple, certaines espèces de blé et de tabac sont particulièrement sensibles à l'ozone. D'un autre côté, les travaux du laboratoire pollution atmosphérique de Nancy (2002), ont conclu que les augmentations des concentrations du dioxyde de soufre serait la cause la plus plausible de la croissance accélérée des végétaux. Les pluies acides provoquent également le dépérissement des forêts de conifères (CODEP, 2005).

1.10.3. L'impact sur le patrimoine

Les effets de la pollution atmosphérique sur les pierres peuvent être de différents ordres et se présentent, par conséquent, sous différents aspects. L'observation des façades ou des statues ont montré que ses dégradations, qui se manifestent par des zones blanches, grises ou noires, sont généralement réparties de façon uniforme. Ces différents types d'altération sont fonction de plusieurs facteurs : ils dépendent à la fois du type et de l'intensité de la pollution rencontrée, de la nature de la pierre, de la géométrie, de la surface et de son exposition à la pluie (Lefèvre, 2004).

1.10.4. Le déséquilibre des écosystèmes :

Les effets nocifs observés sur une espèce peuvent entraîner un déséquilibre de l'écosystème (rupture de la chaîne alimentaire, disparition d'un habitat, pullulation d'une espèce concurrente etc.) ou perturber son fonctionnement : polluant devenant nutriment pour certaines espèces. L'impact des polluants atmosphériques sur les milieux naturels se manifeste sur le long terme. Il est souvent difficile de faire la part de responsabilité entre des polluants atmosphériques et hydriques, ou encore entre pollutions et aléas climatiques (PRQA, 2000).

1.10.5. L'impact sur environnement :

Les dépôts d'origine atmosphérique sont, pour les écosystèmes naturels, une charge supplémentaire par rapport aux teneurs naturelles du fond géochimique (sols, eaux) (Figure N° 5). On sait que l'exposition à un polluant atmosphérique comme les métaux lourds est connue pour provoquer des effets dommageables, à court ou à long terme, aux systèmes vivants (écosystème terrestre et aquatique) ou à des matrices inertes (patrimoine bâti, matériaux). Mais ces effets sont difficiles à quantifier puisqu'ils se produisent sur des systèmes présentant des seuils de vulnérabilité variables.

D'une manière générale, la plupart des végétaux des accumulateurs de métaux, qu'ils soient aquatiques (algues) ou terrestres (lichens, mousses, végétaux supérieurs...). Premier maillon des chaînes alimentaires, les végétaux sont le point de départ du transfert des métaux dans ces chaînes et peuvent ensuite se concentrer de manière parfois importante dans les niveaux trophiques supérieurs (bioamplification).

La pollution atmosphérique peut avoir des effets sur le fonctionnement des écosystèmes, aussi bien au niveau de la faune que de la flore. Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques. L'exemple le plus édifiant, est l'accumulation du plomb issu des plombs de chasse par les gibiers d'eau (canards,

Colverts, sarcelles...). En effet, les plombs de chasse, quand ils sont accessibles, sont souvent pris pour de la nourriture et/ou pour des graviers que l'oiseau stocke dans son gésier, ce qui conduit à de fortes concentrations de plomb et d'antimoine dans les tissus de l'animal (cas de l'étang de Berre).

D'autres polluants ont également une action spécifique sur les animaux. Le molybdène se traduit par une anémie et des lésions osseuses ; le zinc, le sélénium, l'acide arsénieux et le plomb tétra éthyle peuvent se traduire par des signes d'empoisonnement essentiellement digestif ; les cendres et les poussières de ciment provoquent également des troubles digestifs. Les sujets sont capables de réaliser des anthracoses pulmonaires. Enfin, les insecticides, provoquent des accidents (effets sur la ponte, anomalies du développement embryonnaire, effets sur la vision et le comportement), spécialement chez les oiseaux (Chovin et Roussel, 1968).

1.10.6. Les impacts à l'échelle planétaire

1.10.6.1. Les pluies acides :

Les émissions de soufre ou d'oxyde d'azote peuvent se transformer directement en dérivés acides (acide sulfurique H_2SO_4 ou nitrique HNO_3) en réagissant avec l'humidité de l'air dans le cas où l'atmosphère est sèche, et en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3) dans le cas où l'atmosphère est humide (Ascoparg, 2005) ou en particules, sulfates ou nitrates, susceptibles d'être transportées sur de très longues distances et abandonnées sous formes de dépôts secs avant d'être recomposées en acide.

La quantité maximale de composés acidifiants tolérée sans effets irréversibles sur l'écosystème (charge critique, souvent mesurée en Kg par hectare et par an) est très variable selon la nature du terrain récepteur. Dans les sols calcaires, l'acidité est neutralisée et les dommages sont réduits.

Les lacs et les cours d'eau, qui recueillent les eaux de ruissellement, sont les premiers touchés par ce phénomène : la fonte des neiges en montagne, les dépôts acides concentrés dans les cours d'eau détruisant la faune et la flore aquatique. S'agissant des forêts, les dépôts acides, qui peuvent déjà endommager le feuillage et les écorces, affectent également les racines des plantes, réduisent leur capacité à se nourrir et à se protéger des maladies et des parasites (Nicolas et al, 2002).

1.10.6.2. L'effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel permettant le maintien de la température de l'atmosphère. Sans cet effet, la température moyenne à la surface de la terre serait de $-18^{\circ}C$. L'atmosphère laisse passer 50% du rayonnement solaire, ce rayonnement est ensuite renvoyé par le sol vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge. Les gaz à effet de serre (GES) présents dans l'atmosphère agissent comme les parois d'une serre en évitant qu'une part du rayonnement ne s'échappe définitivement dans l'espace. Ces gaz permettant de maintenir la température moyenne de la terre à $15^{\circ}C$.

Les principaux GES liés aux activités humaines sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone troposphérique (O_3), les

chlorofluorocarbures (CFC) et les hydro chlorofluorocarbures (HCFC), ainsi que leurs substitués notamment les hydro fluocarbures (HFC), les per fluocarbures (PFC) et les hexafluorures de soufre (SF₆). Ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère mais en très faible quantité. Toutefois, les activités humaines accroissent leur concentration dans l'atmosphère et par conséquent, une augmentation artificielle de la température moyenne de la planète (PRSE, 2007).

1.10.6.3. La création de smogs

Les smogs sont créés généralement par les oxydes de soufre et de carbone, le monoxyde de carbone et d'autres types de gaz émis essentiellement par les véhicules, les usines et les centrales.

Le smog est un gros nuage de pollution. Il peut irriter les yeux, causer des problèmes de respiration et même causer certains types de cancer. Les smogs les plus connus sont les smogs acides causés par la fumée dégagée au niveau des foyers et les smogs photochimiques générés par les gaz d'échappement des voitures.

1.10.6.4. Le trou dans la couche d'ozone :

De nombreuses études ont montré que la couche d'ozone avait diminué de manière significative au niveau de certains endroits autour du globe. Il importe de mentionner que cette couche est essentielle à la vie sur terre. Elle est située dans la haute atmosphère « la stratosphère » et absorbe les rayons ultraviolets. Les CFC réagissent avec les rayons solaires pour libérer du chlore qui détruit l'ozone.

Il importe de signaler que la diminution de la couche d'ozone pourrait entraîner une augmentation très sensible des maladies dermatiques et plus particulièrement les cancers de la peau (Kim Andrews, 2002).

1.10.6.5. Les changements climatiques :

Sur le plan scientifique, tout le monde s'accorde à dire que la planète se réchauffe. Les scientifiques ont déterminé que la température de l'air à la surface de la terre avait augmenté d'environ 0,6 °C depuis la fin du XIX^e siècle. Les indices fournis par les anneaux de croissance des arbres, les coraux tropicaux et les carottes de glace du Groenland indiquent que, du moins dans le cas de l'hémisphère nord, le XX^{ème} siècle a été le plus chaud du dernier millénaire, les années 1990 ayant été la décennie la plus chaude du millénaire. En outre, le réchauffement climatique va malheureusement encore se poursuivre. Selon (Ogilvie, 2004), les températures moyennes de la planète augmenteront de 1,4 à 5,8 °C au cours du prochain siècle

Tableau N° 04 : Impact des métaux lourds (ETM) sur la santé humaine (INRS, 2004)

Eléments	Toxicité/ Forme la plus toxique	Effets	
		Chroniques Exposition peu intense de longue durée	Aigus Exposition intense de courte durée
Arsenic	Formes inorganiques	Cancérogène, lésions (moelle osseuse, sang, foie, système nerveux)	Irritation des muqueuses, troubles digestifs et circulatoires, lésions de la peau
Cadmium	Formes inorganiques	Potentiellement cancérogène, ostéoporose, lésion du rein	Troubles digestifs, pulmonaires et rénaux
Chrome	Formes inorganiques	Effets cancérogènes (poumons), lésions du rein, troubles respiratoires et gastro-intestinaux	Irritation des muqueuses respiratoires
Cuivre	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle		Lésion des muqueuses respiratoires et digestives (intestin et estomac)
Fer	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle (trichlorure de fer)		Troubles digestifs, lésions du rein, irritation (peau, muqueuses)
Mercure	Méthylmercure	Troubles neurologiques et du comportement, tremblement	Troubles neurologiques et digestifs, irritation des voies respiratoires, lésions du rein
Nickel	Toxicité assez rare Forme organique (nickel tétracarbonyle)	Cancérogène, asthme, rhinites chroniques	Troubles respiratoires, digestifs et cutanés
Plomb	Formes inorganiques	Potentiellement cancérogène, plombémie, convulsion	Troubles neurologiques (enfants plus sensibles), digestifs et rénaux
Vanadium	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle (peroxyde de vanadium)	Bronchite chronique, pneumonie, anémie, lésion du foie et des reins	Irritation (appareil respiratoire, peau, muqueuse)
Zinc	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle (sels solubles, chlorure, phosphate et sulfate de zinc)		Irritation des muqueuses respiratoires, gastro-intestinales et cutanées, fatigue, frissons

Chapitre II

Biosurveillance de la Qualité de l'Air

Introduction

Depuis quelques décennies, les phénomènes de pollution ont pris une importance de plus en plus grande aux plans environnementaux sanitaires, économiques et politiques. Dans l'environnement, les pollutions entraînent des perturbations au niveau des êtres vivants (faune et flore) et des compartiments abiotiques fondamentaux (eau, sol, atmosphère) des milieux.

2.1. Définition et concepts

Blandin (1986) donnait du bio-indicateur la définition 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 ».

Garrec et Van Haluwyn (2002) donnent un sens plus restrictif au terme de bio-indicateur dans la mesure où ils le considèrent comme « un simple relais ne faisant référence qu'à des effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction) ». Les auteurs prennent ainsi la réaction au niveau individuel.

Lorsque la réaction se situe au niveau populationnel et/ou communautaire (disparition ou apparition d'espèces, variation densitaire), on utilisera le terme de bio-intégrateur. Les propos d'Echaubard (1995) concernant le monde animal peuvent être facilement transposés au monde végétal : « Toute disparition ou apparition d'une espèce, toute modification de l'abondance relative d'une espèce ou de la structure des peuplements végétaux d'un écosystème signifie donc une modification de l'environnement de cette espèce. Toute chose étant égale par ailleurs, l'introduction d'un polluant dans le milieu peut donc jouer le rôle d'acteur perturbateur, modifiant la structure des peuplements végétaux ».

Un troisième concept relève également de processus biologiques mais se situe au niveau infra-individuel : altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles à l'œil. Il s'agit de la notion de bio-marqueur dont on peut donner la définition de Lagadic *et al.* (1997) : « Un bio-marqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant ».

Selon Ramade (1993), la bio-accumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire même si elle est toxique à ce dernier.

La bio-surveillance peut donc être 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 ».

L'utilisation des bioindicateurs peut donc se faire selon les différentes facettes de la bio-indication : bio-indication, bio-intégration (ou bio-estimation), bio-accumulation et recherche de bio-marqueurs.

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 transects 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 certains problèmes comme :

- L'absence d'espèces utilisables 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 N°05) 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 N° 05 : 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, la teneur en métal du substrat et la contamination locale.	Les concentrations des polluants dans les transplants peuvent être plus directement liées à la pollution atmosphérique.
Les plantes peuvent être soumises à un stress ou subir des changements de morphologie/physiologie, qui affectent l'absorption (exposition à certains polluants sur le 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 etc.).
- ✓ Identification des sources atmosphériques de métaux lourds par le biais de mousses ou de lichens (Salines et Boudet, 2011).

2.3. Organismes utilisés dans la biosurveillance

2.3.1. Biosurveillance par les lichens

Avec 25 000 espèces différentes, les lichens représentent près de 6 % de la couverture terrestre (Nash, 2008b). Capables de coloniser des milieux biogéographiquement très variés, jusqu'à des conditions les plus extrêmes dans lesquels aucun des deux partenaires de la symbiose ne s'accommoderaient isolément, ils jouent des rôles primordiaux pour les écosystèmes (comme la mise en place des sols). De ce fait, ils participent au transfert des éléments chimiques au sein des écosystèmes, et donc des cycles biogéochimiques, tant pour les éléments majeurs que pour les éléments traces.

Groupe polyphylétique, c'est en 1869 que les lichens ont été reconnus comme organismes doubles (van Haluwyn et Lerond, 1993), associations symbiotiques stable et indépendante entre deux partenaires :

- le **mycosymbiote** (champignon) : avec près de 20 000 espèces, les cellules du champignon sont appelées des hyphes, formant des filaments plus ou moins ramifiés ;

- le **photosymbiote** ou phycosymbiote (algue *s. l.*) : avec une quarantaine d'espèces différentes, assurées soit par une Chlorophyceae (chlorolichen), soit par une Cyanophyceae (cyanolichen), les cellules algales sont appelées des gonidies. La nomenclature de l'association est basée sur le partenaire fongique. Chaque espèce de lichen correspond à une espèce distincte de champignon (ce qui n'est pas le cas pour le partenaire algal). Ce dernier est également responsable de la morphologie du thalle lichénique (van Haluwyn et Lerond, 1993) : crustacée, foliacée, fruticuleux.

Les lichens sont connus pour leur croissance lente responsable de leur longévité : du mm au cm par an pour les espèces foliacés. Le taux de croissance varie selon l'espèce considérée et le milieu de vie. À l'exception des espèces rupicoles crustacées utilisées en paléoclimatologie, une même espèce peut présenter de larges gammes de croissance causées par divers effets environnementaux (climatologie, nature du substrat, compétition entre thalles etc.) rendant impossible la définition d'une loi de croissance (Armstrong et Bradwell, 2011).

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.

Bargagli (1998) dresse une liste des espèces lichéniques utilisables comme bioaccumulateurs 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).

D'une manière générale, certaines caractéristiques biologiques des lichens rendent ces organismes sensibles aux polluants atmosphériques, et ainsi, permettent leur utilisation en biosurveillance de la qualité de l'air (van Haluwyn et Lerond, 1993 ; Conti et Cecchetti, 2001). Contrairement aux plantes, ils n'ont ni cuticule, ni système racinaire, ni système d'excrétion et de régulation des échanges gazeux et constituent des populations stables et pérennes. De plus leur longévité et leur activité biologique quasi-annuelle (en particulier pendant les périodes humides propices aux dépôts atmosphériques) les transforment en organismes capables d'accumuler trois fois plus de contaminants atmosphériques qu'une feuille d'arbre (Loppi *et al.*, 1997a) et deux fois plus que la partie végétative de plantes herbacées (Bargagli, 1993). Par conséquent, ils sont davantage soumis aux effets néfastes de ces polluants. Enfin, ces organismes ont la spécificité de synthétiser des acides lichéniques capables de complexer les éléments inorganiques (Hawksworth et Rose, 1976), ce qui favorise la capture des éléments présents dans l'atmosphère.

2.3.2. Biosurveillance par les mousses

Le groupe des mousses (Bryophytes) appartient aux plantes à caractères rudimentaires sans tissus conducteurs et aux organes (tiges, feuilles et racines) relativement simplifiés. Ils descendent des premiers organismes ayant conquis le milieu terrestre à partir des algues vertes. Ils restent inféodés aux milieux humides et peu ensoleillés. On estime à 25 000 le nombre total d'espèces de Bryophytes sur Terre, dont 15 000 espèces de vraies mousses, les Bryopsidées (Ozenda, 2006).

L'absence de système racinaire nécessite une absorption depuis l'atmosphère par le système feuillé. Cette absorption est facilitée par la perméabilité des tissus et la mince cuticule qui constitue la couche supérieure des « feuilles ». Ces organismes sont, de ce fait, très dépendants des dépôts humides capables d'apporter tant l'eau que les éléments minéraux nutritifs et tout élément présent dans l'atmosphère. Comme chez les lichens, certaines espèces sont douées de reviviscence sur plusieurs années (Jahns, 2011). À partir des années 1960, les mousses font l'objet du suivi de la contamination atmosphérique telle que la contamination plombée (Rühling et Tyler, 1968). La biosurveillance par ce groupe végétal s'est, depuis,

nettement développée. De nos jours, la surveillance par les mousses fait l'objet d'un réseau de suivi des retombées atmosphériques métalliques à partir de cinq espèces de Bryopsidées (*Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme*, *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum*, *Thuidium tamariscinum*) par le réseau national BRAMM (Gombert *et al.*, 2005) et son extension européenne au sein du PIC végétation (Harmens *et al.*, 2013).

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).

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 particulaires 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).

2.3.3. Biosurveillance par les écorces

Tout arbre contient, en partie superficielle du tronc, des branches et des racines, une couche protectrice issue de l'accumulation de cellules produites par et en périphérie de l'assise cambiale incluant liber et rhytidome. Il s'agit de l'écorce. Depuis que le lien direct entre acidité de l'écorce et teneur en SO₂ dans l'atmosphère est connu (Staxäng, 1969 ; Grodzińska, 1977), les écorces ont fréquemment été employées en biosurveillance tant pour les éléments majeurs (Takala *et al.*, 1991 ; Schulz *et al.*, 1997, 2001) que pour les éléments traces (Barnes *et al.*,

1976 ; Laaksovirta *et al.*, 1976 ; Lötschert et Köhm, 1978 ; Swieboda et Kalemba, 1979 ; Huhn *et al.*, 1995 ; Berlizov *et al.*, 2007).

L'écorce présente un avantage non négligeable en matière de surveillance biologique du fait de sa grande disponibilité, notamment en zones fortement anthropisées dans lesquelles il devient difficile de trouver des matrices biologiques indicatrices. Plus de 40 espèces ont été utilisées à ces fins en Europe, dont les plus courantes sont : *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Picea abies* (L.) ou encore *Pinus sylvestris* L. (Catinon, 2010).

Maatoug *et al.*, (2007) montre que , 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 spatiotemporelles. 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).

2.3.4. Avantages et limites de la biosurveillance

Il apparaît pertinent de coupler les différentes méthodes de biosurveillance en s'intéressant aux apports de chacune d'entre elles. Par exemple, des études sur le long terme tendent à montrer une réponse plus lente de la flore lichénique (bioindication) face aux modifications des concentrations en polluants atmosphériques (bioaccumulation) (Loppi *et al.*, 1998). Les principaux avantages qu'offre la biosurveillance sont :

- une approche globale : en étudiant la réponse biologique, l'ensemble des contaminants du milieu est pris en considération, en intégrant à la fois la dimension temporelle et la dimension spatiale, approche complémentaire aux capteurs physico-chimiques,
 - une simplification protocolaire : la biosurveillance passive ne nécessite pas d'anticipation particulière ; seule une récolte du matériel biologique ubiquiste est réalisée au moment souhaité, facilitant l'accessibilité des données.
 - En revanche, ces outils posent un certain nombre de questions à ce jour non résolues qu'il est impératif de limiter pour une meilleure interprétation :

- l'absence de précision sur l'enregistrement spatial : pollution locale ou pollution de fond,
- l'absence de précision sur l'enregistrement temporel : quelle intégration ? Temps de résidence ?
- l'effet d'un polluant peut être masqué par le polluant dominant et/ou le plus néfaste,
- l'impossibilité de remonter à la concentration en polluant dans le milieu atmosphérique,
- la difficulté de trouver des matrices biologiques dans les environnements trop pollués,
- le manque de données sur les effets biologiques causées par les contaminants.

Chapitre III : ETUDE DES LICHENS

3.1. Définition

Un lichen est une association symbiotique obligatoire entre un champignon et une algue (Ozenda et Clauzade, 1970). Les lichens ne sont pas un organisme unique, mais une association de deux organismes différents vivant en relation étroite appelée symbiose. L'un des partenaires est un champignon, ou mycobionte, et le second une algue ou phycionte (Jahns, 1980). Les lichens sont considérés comme étant des thallophytes car ils ne possèdent ni tiges, ni racines, et ne sont pas vascularisés. Selon Edith (2001), 13500 champignons sur 64 200 sont lichénisés, soit près de 20%).

Coupe transversale dans un thalle de lichen

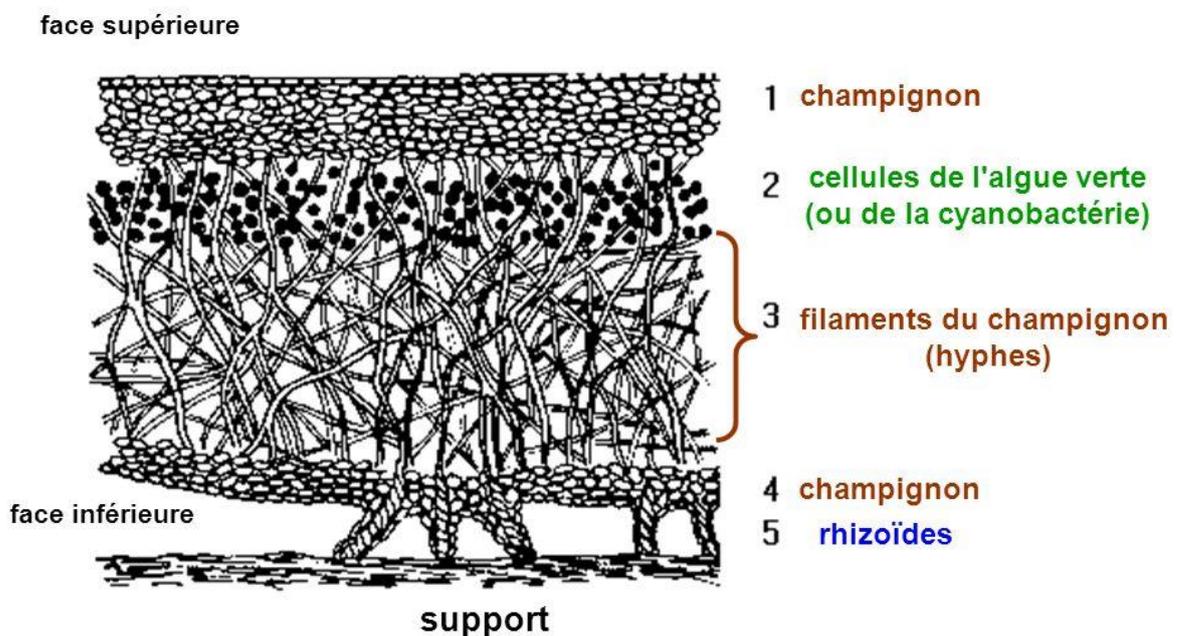


Figure N° 05 : Coupe verticale à travers le corps d'un lichen.

3.2. Caractères morphologiques du thalle lichénique

Le thalle est l'appareil végétatif du lichen qui assure sa nutrition, sa survie et sa croissance. La morphologie du thalle lichénique est caractéristique, il peut être crustacé lobé ou non lobé, foliacé, un amas d'hyphes dépourvus de caractères ressemblant à ceux du lichen dont il a été isolé (COSTE, 2008). Les lichens sont inclus dans les Thallophytes, vaste ensemble de végétaux dépourvus de tiges, feuilles et racines et qui ne sont donc pas vascularisés. Leur thalle ou appareil végétatif présente une morphologie originale par rapport à celle des algues et des champignons qui le composent (Van Haluwyn et Lerond, 1993).

On distingue plusieurs types morphologiques des thalles :

➤ **Les thalles crustacés**

Forme la plus simple des thalles lichéniques, les thalles crustacés se présentent sous la forme d'une croûte adhérente au substrat, ou incorporée à celui-ci. Ces espèces s'étalent à la surface du substrat, et leur surface peut être continue et uniforme, fendillée, aréolée (divisée en compartiments), verruqueuse, granuleuse ou pulvérulente (Bricaud ,2009).



Figure N° 6 : Lichen crustacés *Caloplaca flavescens*
(Photo de Gavériaux, 2009)

➤ **Les thalles foliacés**

Ces lichens ont un thalle en forme de feuille, peu adhérente au substrat et facile à détacher. Les couches du thalle sont bien différenciées et montrent souvent un cortex inférieur. La fixation au substrat est réalisée soit par des rhizines, soit par un seul point jouant le rôle de crampon.



Figure N° 7 : Lichen foliacé *Flavoparmelia caperata*

➤ **Les thalles fruticuleux**

Chez ces lichens, le thalle ressemble à des lanières ou des tiges, ayant la forme d'une touffe dense à la surface du sol, ou d'un petit arbre, dressé ou pendant et fixé à un substrat dur par un crampon (Bricaud, 2009).



Figure N° 08 : Lichen fruticuleux

➤ **Les thalles gélatineux**

Ils contiennent des cyanobactéries qui vont leur donner cette couleur. A l'état sec ils sont noirs, coriaces et friables. En présence d'eau ils gonflent pour donner une masse gélatineuse, particulièrement glissante.

➤ **Les thalles complexes**

Ils présentent des thalles primaires plus ou moins foliacé-squamuleux, plus ou moins adhérent au substrat, et des thalles secondaires dressés, plus ou moins ramifiés, développés dans un second temps sur les thalles primaires.

➤ **Le thalle squamuleux**

Formés de petites écailles qui se chevauchent partiellement, ces thalles sont intermédiaires entre les crustacés et les foliacés car une partie peut se retrouver dans le substrat. Malgré tout, ils peuvent être prélevés plus facilement qu'un crustacé classique, les écailles formant la partie non incrustée sont généralement bien solidaires et se détachent à l'aide d'un opinel. Les lichens squamuleux présentent un thalle formé de squames ou de lobules peu adhérents au substrat (Bricaud, 2009).

3.3. Les principaux organes portés par le thalle

❖ Pseudocyphelle

La Pseudocyphelle est une ouverture, une fente ou une fissure dans l'épiderme supérieur du thalle. Elle joue un rôle dans les échanges gazeux avec l'atmosphère (Delfosse *et al*, 2006).

❖ Rhizine

La rhizine est constituée d'un faisceau d'hyphes, elle peut être simple ou ramifiée. Elle est un organe de fixation à la face inférieure des thalles foliacés (Delfosse *et al*, 2006).

❖ Apothécie

L'apothécie a une structure de coupe, de cratère. Elle est la fructification la plus courante, elle produit des spores (uniquement le champignon) (Delfosse *et al*, 2006).

❖ Soralie

La soralie présente l'aspect d'un amas granuleux le plus souvent d'une couleur différente de celle du thalle (absence de cortex). Elle est constituée de petites «boules » (sorédies), véritables lichens miniatures. Très légères, les sorédies sont facilement transportées par le vent, la pluie ou les insectes et permettent une dissémination lointaine de l'espèce (Delfosse *et al*, 2006).

❖ Isidie

L'isidie est une excroissance dressée, simple ou ramifiée de même couleur que le thalle (car recouverte de cortex). Plus lourdes que les soralies, les isidies ne peuvent pas être transportées plus loin par le vent. Ce sont de petites boutures qui assurent la colonisation du substrat (Delfosse *et al*, 2006).

❖ Cil

Le cil est une excroissance filiforme souvent d'une coloration différente du thalle. Les cils protègent le thalle des radiations, ils limitent l'évapotranspiration, et retiennent l'humidité (rosée et eau de pluie) mais n'ont aucune fonction de nutrition (Delfosse *et al*, 2006).

3.4. Critères écologiques des lichens

Les lichens sont répandus sur toute la terre, ils sont la dernière végétation qu'on rencontre vers les pôles et en altitude. Ils se développent dans des milieux très variés et sur des substrats naturels ou artificiels, en fonction de leurs caractéristiques propres dont les substrats les plus communs sont les roches, la terre, l'écorce. On rencontre également les lichens sur d'autres supports telles les tuiles, le béton, les métaux, le verre, le cuir, les os et les cartons. Il existe parfois des lichens sur les coquilles des gastéropodes, sur les coléoptères ou sur la carapace des tortues (Van Haluwyn et Lerond, 1993). Le support peut intervenir sur le comportement des lichens vis-à-vis de la pollution, notamment par ses propriétés chimiques,

son pH, son pouvoir tampon et sa capacité de rétention en eau (Delezenne et Van Haluwyn, 1973).

3.4.1. Classification des lichens suivant leur substrat

Les lichens sont répandus sur toute la terre, ils sont la dernière végétation que nous rencontrons vers les pôles et en altitude. Ils se développent dans des milieux très variés et sur des substrats naturels ou artificiels, en fonction de leur caractéristiques propres dont les substrats les plus communs sont les roches, la terre, l'écorce, nous rencontrons les lichens aussi sur autres supports comme les tuiles, le béton, les métaux, le verre, le cuir, les os, le carton etc.

Il existe parfois des lichens sur les coquilles des gastéropodes, sur les coléoptères ou sur la carapace des tortues (Van Haluwyn et Lerond, 1993).

Le support peut intervenir sur le comportement des lichens vis-à-vis de la pollution, notamment par ses propriétés chimiques, son pH, son pouvoir tampon, sa capacité en rétention en eau (Delezenne et Van Haluwyn, 1973). Suivant la nature du support, les lichens sont appelés :

- **Lichens corticoles** : le substrat est l'écorce des troncs ou la branche des arbres.
- **Lichens folicoles** : le substrat est la terre.
- **Lichens terricoles** : le substrat est l'humus.
- **Lichens lignicoles** : le substrat est le bois mort.
- **Lichens muscicoles** : le substrat sont les mousses.
- **Lichens nitrophiles** : ceux qui poussent sur les endroits riches en azote.
- **Lichens halophiles** : ceux qui préfèrent les milieux salés.
- **Lichens saxicoles** : le substrat sont soit des pierres

3.4.2. Les facteurs du milieu

En dehors des facteurs substratiques, la plupart des lichens montrent des exigences très précises en matière d'éclairement et surtout d'humidité. Ces préférences conditionnent de façon assez précise leur distribution à l'intérieur des différents écosystèmes, notamment forestiers. Par ailleurs, de nombreux lichens sont très sensibles à la pollution et aux différents apports chimiques extérieurs.

3.4.2.1. Les facteurs biotiques

Les groupements lichéniques montrent des phénomènes de compétition entre diverses espèces de lichens, ou bien avec les groupements de bryophytes ou d'algues. Les lichens hébergent souvent des champignons parasites spécifiques (dits lichénicoles), et plusieurs lichens sont parasites d'autres lichens.

- La concurrence vitale entre les lichens eux-mêmes (succession des espèces crustacées, foliacées et fruticuleuses) (Wolf, 1993) ;

- La concurrence entre les lichens et d'autres plantes (mousses ou phanérogames) (Oksanen, 1990 ; Robinson *et al.* 1989) ;

- L'influence de la végétation de Bryophytes et de plantes vasculaires qui modifie localement les conditions climatiques et substratiques, créant des microclimats et des micros stations (Wolf, 1993)

3.5. Reproduction des lichens

Etant donné la nature même du lichen et le fonctionnement original de ce complexe symbiotique, on peut s'interroger sur les modalités et les mécanismes de la reproduction. Les acteurs de la reproduction sont soit les deux symbiotes à la fois, soit le champignon seul, mais jamais la photo symbiote seul (Van Haluwyn et Lerond, 1993). Donc, les lichens peuvent se propager par deux manières

➤ La dissémination du complexe lichénique

Il s'agit d'une multiplication végétative qui s'apparente à un bouturage. Elle se fait tantôt par la dispersion des fragments indifférenciés du thalle, tantôt par émission de corpuscules spéciaux : les isidies et les sorédies (Ozenda et Clauzade 1970 ; Ozenda, 2000).

➤ La reproduction du champignon

Soit par dissémination du champignon à l'aide de ses spores, qui peuvent après germination mettre les hyphes captant de nouvelles gonidies et entrant en symbiose avec elles, et reconstitue un nouveau lichen (Ozenda et Clauzade, 1970). C'est à dire, deux hyphes fongiques sexuellement différenciées fusionnent et donnent à la surface du thalle, des structures en forme de boutons (les apothécies), ou de coupes plus ou moins fermées (le périthèces), dans lesquelles des cellules particulières (les asques) vont élaborer des ascospores (en général 8 spores par asque mais le nombre peut varier, et des mitoses post-miotiques permettent d'obtenir dans certains cas 32, 64,...ascospores, ou beaucoup moins) (Ozenda, 2000).

3.6. Intérêt des lichens

Depuis l'antiquité, les lichens ont été utilisés comme médicaments, aliments, teintures ou parfums. Cet usage représente actuellement une importance économique non négligeable. Les principaux intérêts des lichens peuvent être résumés comme suit :

❖ Usages alimentaires

Les lichens peuvent être introduits dans les chaînes alimentaires, consommés par certains animaux, ou font l'objet d'un parasitisme par d'autres champignons qui leurs sont inféodés (Afl, 2011). Dans l'alimentation des animaux, les *Cetraria* et les et les *Cladonia* sont les plus utilisés surtout dans le grand Nord où *Cladonia rangiferina* constitue la nourriture d'hiver des rennes et des caribous (Mc keever, 1960, Maser *et al.*, 1985 ; Rominger et Oldemeyer, 1989). Dans l'alimentation humaine, le « lichen d'Islande » ou *Cetraria islandica*, est utilisé d'une manière assez régulière, dans les pays nordiques, sous forme de farine de valeur énergétique

satisfaisante en pâtisserie ou par la fabrication de pain pour diabétique (Ozenda et Clauzade, 1970).

❖ Usages médicaux :

Actuellement, les recherches laissent entrevoir un nouvel essor de l'utilisation thérapeutique des lichens avec la mise en évidence de propriétés anti tumorales (Van Haluwyn et Lerond, 1993 in Koyama *et al.*, 1989). Les lichens ont été utilisés depuis les temps les plus reculés. On citera à titre d'exemple les plus célèbres des espèces médicinales :

- *Lobaria pulmonaria*, préconisé contre les affections pulmonaires,
- *Parmelia sulcata*, utilisé contre les maux de tête,
- *Peltigera canina* (lichen du chien), utilisé contre la rage.

❖ Usages industriels

- Teintures

Par leurs substances chimiques, beaucoup d'espèces fournissent des teintures de haute qualité, leur emploi est cependant en régression par suite de la concurrence des colorants synthétiques, mais reste toujours en faveur chez les populations alpines qui utilisent jusqu'à ces jours certaines espèces de lichens possédant des propriétés tinctoriales telles que :

Pertusaria dealbata et *Ochrolechia tartarea*.

- Décoration

Les lichens par leur diversité morphologique aux formes et aux couleurs si spectaculaires, ont attiré l'attention des décorateurs qui les utilisaient pour la confection des maquettes, des couronnes funéraires, décoration de tables etc. (Ozenda et Clauzade, 1970).

- Parfumerie

Cette utilisation est toujours en vigueur actuellement et conserve une importance notable. Les espèces utilisées sont principalement : *Lobaria pulmonaria*, *Pseudevernia furfuracea* et *Evernia prunastri* (Sen-Salerno et Blakeway, 1987).

❖ Usage comme Bioindicateurs

Depuis des années, les lichens sont utilisés dans la bio indication afin d'étudier la pollution atmosphérique engendrée par les métaux lourds (Nieboer et Richardson, 1981 ; De Bruin et Hackenitz, 1986 ; Rizzio *et al.*, 2001). Leur capacité spécifique pour absorber et accumuler ce type de polluants dans l'air associée à leur longévité et leur résistance au stress environnemental les ont rendus appropriés pour l'étude et l'évaluation de la qualité de l'air (Herzig *et al.*, 1989 ; Sloof et Wolterbeek, 1991 ; Loppi *et al.*, 1997 ; Bargagli, 1998, Bargagli *et al.*, 2002).

Pour les lichénologues actuels, l'une des utilisations des lichens, toute à la fois récente et riche en informations, est le fait qu'ils soient un matériel de choix pour la bio-indication des pollutions. Quelle que soit leur nature, les lichens sont capables de la révéler, de la quantifier

et/ou de l'accumuler (Asta et Garrec, 1980 ; Bargagli *et al.*, 1985, Will-Wolf, 1988 ; Samadi, 1989 ; Legrand, 1991 ; Hawksworth , 1994 ; Bargagli *et al.*, 2002).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détection de la pollution atmosphérique. Van Haluwyn et Lerond (1986) distinguaient les méthodes biologiques et les méthodes floristiques

- **Méthodes biologiques**

Elles sont liées aux réactions des individus qui sont utilisées pour cartographier la pollution de l'air, par exemple :

- Les altérations morphologiques,
- Les dosages du soufre accumulé dans les thalles,
- La mesure de l'activité phosphatique,
- L'augmentation de la perméabilité cellulaire (Bedeneau, 1980).

- **Méthodes floristiques**

Elles font état des modifications de la végétation pour étudier la sensibilité d'un lichen à une pollution. On peut utiliser sa distribution géographique à l'aide de cartes de répartition.

Chapitre IV : Etude des Mousses

Introduction

Les bryophytes (du grec bruon = mousse) constituent la première adaptation à la vie terrestre dont on retrouve des traces ou fossiles du carbonifère et peut être le dévonien (Aline, 1994). Les bryophytes constituent un embranchement du règne végétal qui rassemble plus de 24000 espèces. La plupart vivent en colonies et couvrent le sol d'un tapis plus ou moins continue, dans les sous-bois riches en humus, elles y constituent l'essentiel de la strate végétale basse ou strate muscinale, certains s'établissent sur les murs et les rochers (Leclerc, 1999).

L'écologie des bryophytes est très dépendante de l'eau et un mécanisme biologique permettant son économie, les représentants du groupe (mousse et hépatique) sont considérés comme de bons indicateurs biologiques de conditions micro climatiques et de la nature du sol. Ce sont des plantes de petites tailles. Leur appareil végétatif dont la morphologie est assez variable présente une structure très simple puisqu'on n'y trouve ni racines (la fixation au sol est assurée par des fins filaments : les rhizoïdes qui permettent l'absorption de l'eau en la conduisant par capillarité jusqu'aux cellules vivantes de la plante qui l'absorbe, ni vaisseaux conducteurs de sève, ni fleurs ; elles feront donc partie des végétaux inférieurs (Gantet, 1998).

4.1. Classification des bryophytes

Les bryophytes ou muscinées constituent un embranchement bien défini qui regroupe trois classes distinguées par divers caractères de leur reproduction. D'après (Ozenda et Clauzade, 1970) les bryophytes ne regroupent que trois classes : les mousses et les hépatiques et les anthocérotes.

4.1.1. Les hépatiques

De point de vue morphologique, il existe une grande diversité dans l'aspect extérieur des hépatiques, depuis les hépatiques à feuilles jusqu'aux hépatiques à thalles. Elles ont pour la plupart un aplatissement dorsi-ventral bien marqué entraînant une symétrie bilatérale. Les organes sexuels sont portés soit à l'extrémité soit dorsalement, ils se développent à partir d'une seule cellule initiale superficielle. Le protonéma n'est que faiblement développé parfois même inexistant. Il se divise en six ordres dont cinq sont des hépatiques proprement dites.

- ✓ Les Jungermaniales (en majorité hépatiques à feuilles reconnaissables à leur disposition en 02 rangs).
- ✓ Les Calobryales où Takakiales (groupe ancestral avec peu d'espèces).
- ✓ Les Sphaerocarpales.
- ✓ Les Marchantiales (grosses hépatiques à thalles).
- ✓ Les Metzgeriales.
- ✓ Les Antocerotales (à aspect hépatiques mais à sporophyte original).

4.1.2. Les anthocérotes

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).

4.1.3. Les mousses

Les caractères distinctifs des mousses sont :

L'existence d'un protonéma bien marqué et développé, filaments ou thalloïdes issu de la spore et sur lequel se forment les gamétophores dressés, caractérisés en général par une symétrie radiale avec une tige portant des feuilles ; de 10 000 à 13 500 espèces selon les estimations (Nardin, 2000).

Les organes sexuels sont formés à partir d'une cellule superficielle à l'extrémité supérieure des tiges, cette classe comprend trois ordres (Gorenflot, 1992).

❖ Les sphagnales :

Elles sont représentées par un seul genre (sphagnale) avec 300 espèces. Ce genre est localisé essentiellement dans les tourbières ou sur les sols acides très humides. Les sphaignes sont des mousses de grandes tailles, toutes aquatiques et d'eau douce, très largement distribuées, elles existent dans toutes les parties du monde à l'état social (vive en colonie) toujours sur le sol tourbeux ou marécageux elles contribuent pour une grande part à la formation de certains troubles humides.

❖ Les andalous :

Comme l'ordre des sphagnales, cet ordre ne comprend qu'une seule famille avec un seul genre, ce sont de petites mousses brunes, noirâtres qui vivent sur les roches siliceux dans les régions froides, et forme de petits coussinets noirs sur les roches.

❖ Les bryales :

Constituent les mousses proprement dites, elles sont partout abondantes, depuis les pôles jusqu'au tropique pourvu que le milieu soit suffisamment humide certaines sont aquatiques (aucune ni marine) semi aquatiques, beaucoup de celles-ci sont terrestres (rupicoles ou corticoles) et sont réparties sur toutes les altitudes. L'ordre des bryales comprend 13 000 espèces dont 15 000 se trouvent en Europe regroupés en 655 genres dont la funaie est l'exemple typique de cet ordre.

Ce sont des tiges feuillées, capsule sporangiale portée par un pédicelle bien développé, elles montrent une répartition très large, beaucoup d'entre-elles sont cosmopolites.

L'ordre des bryales comprend 13 000 espèces dont 15 000 se trouvent en Europe regroupés en 655 genres dont la funaie est l'exemple typique de cet ordre. Ce sont des tiges feuillées, capsule sporangiale portée par un pédicelle bien développé. Elles montrent une répartition très large, beaucoup d'entre-elles sont cosmopolites.

4.2. Morphologie des mousses

Les mousses ont une structure plus élaborée que celle des algues néanmoins, celle-ci reste simple avec des feuilles dont les cellules forment une seule couche ce qui permet leur observation au microscope sans réalisation de coupes. La disposition des cellules ainsi visibles avec leurs chloroplastes est utilisée pour la détermination.

D'autre part, les bryophytes n'ont pas de tissu ligneux de soutien développé comme les fougères ou les plantes à fleurs. Cela implique qu'elles ont besoin d'humidité ambiante car il

n'y a pas chez elles de transport de l'eau qu'elles doivent donc absorber par toute leur surface. L'eau leur est également nécessaire pour leur reproduction qui implique la nage des gamètes males (Nardin, 2000).

L'anatomie des tiges feuillées des Muscinées est plus simple, la croissance de la tige est assurée par une cellule apicale unique à trois faces actives aboutissant à la formation de trois rangées de feuilles. L'assise superficielle, toujours dépourvue de stomates, n'est pas l'homologue de l'épiderme. Dans le cas le plus simple, la tige entière est un massif de cellules parenchymateuses, toutes semblables entre elles. Chez *Hypnum*, on y distingue une zone périphérique et une région centrale formée de cellules allongées, ayant un rôle conducteur.

Les feuilles présentent une fausse nervure centrale, formée d'un faisceau de cellules allongées qui assurent un rôle de conduction et un limbe ne possédant qu'une ou deux assises de cellules chlorophylliennes (Douin, 1986).

4.3. Ecologie des mousses

4.3.1. L'eau

Les Bryophytes se rencontrent sur toute la surface de la terre, de l'équateur aux pôles, en plaine ou en montagne. Par contre chaque espèce possède souvent une aire limitée, liée à des exigences écologiques assez strictes.

La plupart des mousses, préfèrent les milieux humides ou frais tel que les sous-bois, roches ombragées et le voisinage de cascades, certaines espèces sont aquatiques, elles vivent au bord des cours d'eau ou dans les marées, tandis que d'autres sont xérophiles, elles vivent en plein soleil sur les roches, murs ou sur les toits. Certaines espèces peuvent cependant supporter un ensoleillement assez long.

Beaucoup de mousses présentent la faculté de reviviscence c'est à dire la possibilité en un temps très court et réversible de l'état hydraté et physiologiquement actif à l'état sec et quiescent. Le taux d'hydratation peut tomber à 30% du bois sec et les fonctions sont suspendues à la moindre pluie.

A défaut de l'appareil racinaire, l'absorption de l'eau se fait par toute la plante et notamment par les jeunes feuilles. Les sphaignes sont toutes hydrophiles ou hygrophiles, les espèces aquatiques sont par contre assez rares chez les mousses, aucune espèce ne vit dans la mer. Dans les régions tropicales humides, on trouve de nombreux muscinées épiphytes.

4.3.2. La lumière

Les mousses sont des végétaux peu photophiles qui vivent dans des stations ombragées (sous-bois, troncs d'arbres) le point de compensation, c'est à dire l'intensité lumineuse pour laquelle la photosynthèse équilibre la respiration est plus basse que pour les phanérogames (Boureghda, 2004).

4.3.3. La température

La reviviscence favorise la résistance des mousses à des grandes amplitudes thermiques, les espèces bryales résistent à 30°C tandis que celles des roches ensoleillées supportent des températures de l'ordre de +80°C.

En Algérie, l'étude des bryophytes et de leur répartition est incomplète et il existe un catalogue des mousses algériennes, qui mentionne 224 espèces réparties de la manière suivante :

Acrocarpes (170), pleurocarpes (73), sphaignes (1), presque toutes ces mousses appartiennent à la région méditerranéenne.

4.4. Rôle et intérêt des mousses

Les mousses jouent un rôle important dans la nature :

- Elles retiennent l'excès d'humidité du sol ou elles ralentissent l'évaporation
- Elles participent à la formation lente mais constante d'humus
- Sur les murs et roches, elles accumulent les poussières et les débris divers et constituent un sol ; l'accumulation de ces débris se produit depuis des millénaires et forme des épaisseurs de tours atteignant parfois plusieurs mètres.
- On utilise des sphaignes pour la culture des orchidées, pour l'emballage des plantes à racines fragiles, car elles se gorgent d'eau.
- On les incorpore aussi aux sols trop lourds afin de les alléger.
- Elles abritent une infinité de petits animaux.
- Pour de nombreux usages domestiques : ainsi, en Suède et en Norvège, on calfeutrait avec une espèce d'hypne les fentes des parois des chaumières ; le polytric commun peut servir à faire des balais et des brosses ; le sphaigne des marais, à remplir des matelas ; l'hypne triquètre, à garnir les assiettes de dessert où à emballer la porcelaine
- Les mousses sont utilisées comme bio indicateur de la pollution de l'environnement (Jorda, 2004).

4.5. Utilisation des mousses en biosurveillance

Les mousses présentent un certain nombre de particularités, qui sont très utiles pour l'étude des micropolluants. Les mousses sont de petites plantes autotrophes, elles accumulent dans leurs tissus des quantités importantes de métaux lourds, qu'elles prélèvent à partir du substrat, de l'atmosphère ou de l'eau, les mousses sont utilisées dans certains pays pour le contrôle de la pollution de l'environnement (Loppi et Bonini, 2000).

4.5.1. Pollution de l'air

Les mousses sont très utilisées dans la détection de la pollution atmosphérique d'origines anthropiques. L'utilisation des mousses est une méthode qui a été adoptée depuis la fin des années 60 en suède, elle est un peu coûteuse, elle permet une détermination plus aisée (Lodenus, 1981).

Ce sont des plantes toujours vertes et vivaces, alors facile à ramasser pendant l'année, la plupart de leurs espèces sont abondantes donc les concentrations des polluants dans des régions distantes peuvent être comparées entre espèces (Ruhling et *al.*, 1987 ; Ruhling, 1994 ; Meenks et Tuba, 1992 ; Markert, 1993).

En 1990, la Suède a réutilisé cette technique pour contrôler les émissions atmosphériques des métaux lourds (Gällipurghari, 1990). Une année après, la Finlande a adopté cette méthode simple pour évaluer pendant une période de trois ans (qui débute de juillet 1991 à juillet 1994), l'accumulation des métaux lourds arrivant au sol, et qui correspond aux concentrations de ces mêmes métaux dans l'eau de pluie recueillie durant ces trois années.

Actuellement beaucoup de pays européens utilisent cette technique notamment l'Allemagne et la France.

4.5.2. Pollution de l'eau

L'analyse des mousses constitue un meilleur moyen pour la détection de la pollution des eaux, à titre d'exemple nous citons les études effectuées par (Mouvet, 1983) dans lesquelles, les mousses étaient utilisées pour estimer la qualité des eaux de Rhin après l'accident de Sandoz.

DEUXIEME PARTIE
ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

1.1. Le cadre géographique

La wilaya de Tlemcen est située à l'extrême Nord-ouest du pays. Sa position géographique et son niveau d'équipement et d'infrastructures, lui confèrent un rôle de carrefour stratégique et très dynamique dans les échanges Est-Ouest et Nord-Sud (figure N° 7). Elle est comprise entre 1°27' et 1°51' de longitude ouest et 34°27' et 35°18' de latitude nord,

Elle s'étend sur une superficie 9200 km².

Elle est limitée par :

- Au nord : la mer méditerranée
- Au nord est : la wilaya d'Ain Temouchent
- A l'est : la wilaya de Sidi bel Abbas
- Au sud : la wilaya de Naâma
- A l'ouest : le royaume du Maroc.



Figure N° 9 : La wilaya de Tlemcen à l'échelle nationale



Figure N° 10 : Limites administratives de la wilaya de Tlemcen.

Du point de vue unités géographiques, sept ensembles physiques caractérisent la wilaya du nord vers le sud :

- Les monts des Traras au nord : une zone marneuse et fortement érodée caractérisée par un faible couvert végétal ;
- Les monts de Sebba Chibouk au nord est : une zone à relief accidenté recelant néanmoins un potentiel en sol agricole de valeur assez appréciable.
- La zone de la plaine et plateaux intérieures occupant la zone centrale de la wilaya ;
- La plaine de Maghnia un périmètre irrigué très fertiles, malheureusement soumis à différentes contraintes techniques et administratives de gestion empêchant la valorisation de son potentiel agro-pédologique.
- La zone de Tlemcen : une zone fortement urbanisée et concentrant l'essentiel des activités urbaines et industrielles de la wilaya. Cette situation l'expose à différents problèmes de nature diverses : urbanisation, gestion de déchets, préservation du patrimoine archéologique, circulation – transport et pollutions diverses.
- Les monts de Tlemcen : une zone fortement boisée recelant de nombreuses opportunités tant sur le plan touristique que paysager qui méritent d'être valorisées (parc national de Tlemcen, la vallée de Beni Snous, la forêt de Hafir, la réserve de chasse de Moutas etc.
- La zone steppique à l'extrême sud de la wilaya, englobant 30 % du territoire. C'est une zone à vocation agropastorale soumise à différentes formes de dégradation des parcours et des pâturages. Cette situation est d'autant plus accentuée ces dernières années par les effets des aléas climatiques.

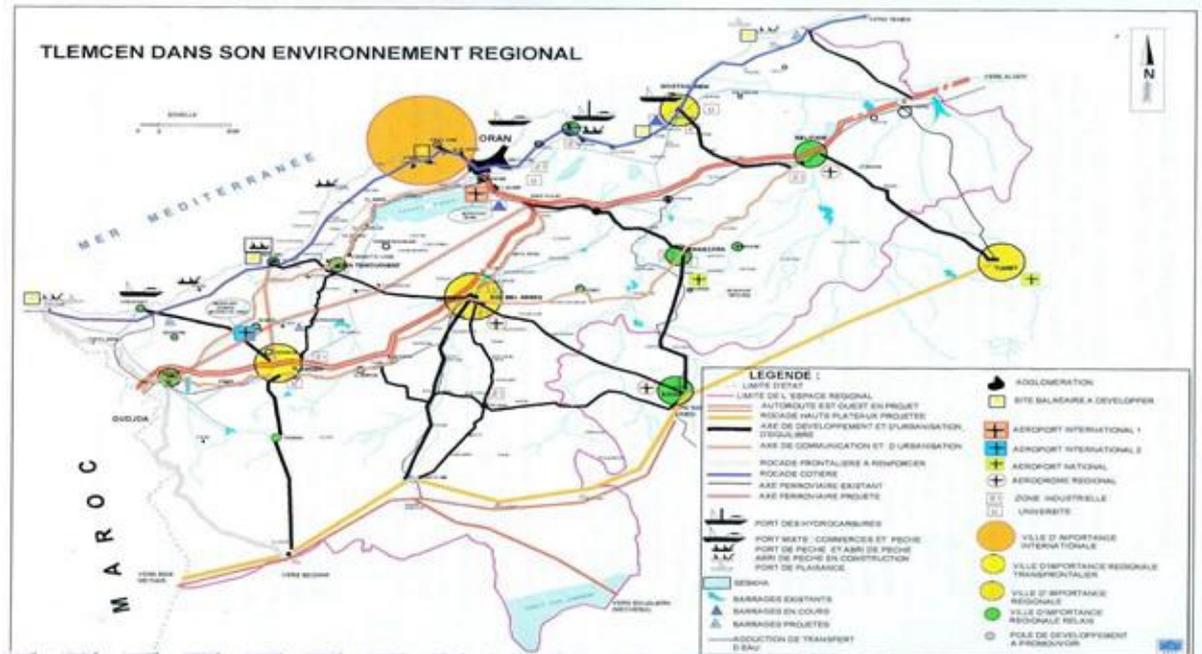


Figure N° 11 : Tlemcen dans son ensemble régional Ouest (ANAT Tlemcen, 2014)

Le groupement urbain de Tlemcen englobe les communes de Tlemcen, Mansourah et Chetouane soit, l'ancienne commune de Tlemcen avant le dernier découpage administratif.

1.2. Caractéristiques générales du groupement de Tlemcen

1.2.1. Le milieu physique

Si diversité il y'a au niveau du groupement, c'est tout d'abord au niveau du relief. En effet, le groupement des communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Beni Mester, s'inscrit entre le massif jurassique des monts de Tlemcen qui lui-même fait partie intégrante de l'Atlas tabulaire et les plaines et plateaux inférieurs. De ce fait, l'espace du groupement est très contrasté.

Cet ensemble se raccorde à l'ensemble montagneux méridional par un glacis et des replats étagés. C'est dans cet ensemble très compartimenté que se sont installés les principaux établissements humains. Aujourd'hui encore, ce cloisonnement conditionne les relations qui s'établissent entre ces établissements caractérisés dans leur majorité par leur direction Nord – Sud convergent vers la ville de Tlemcen.

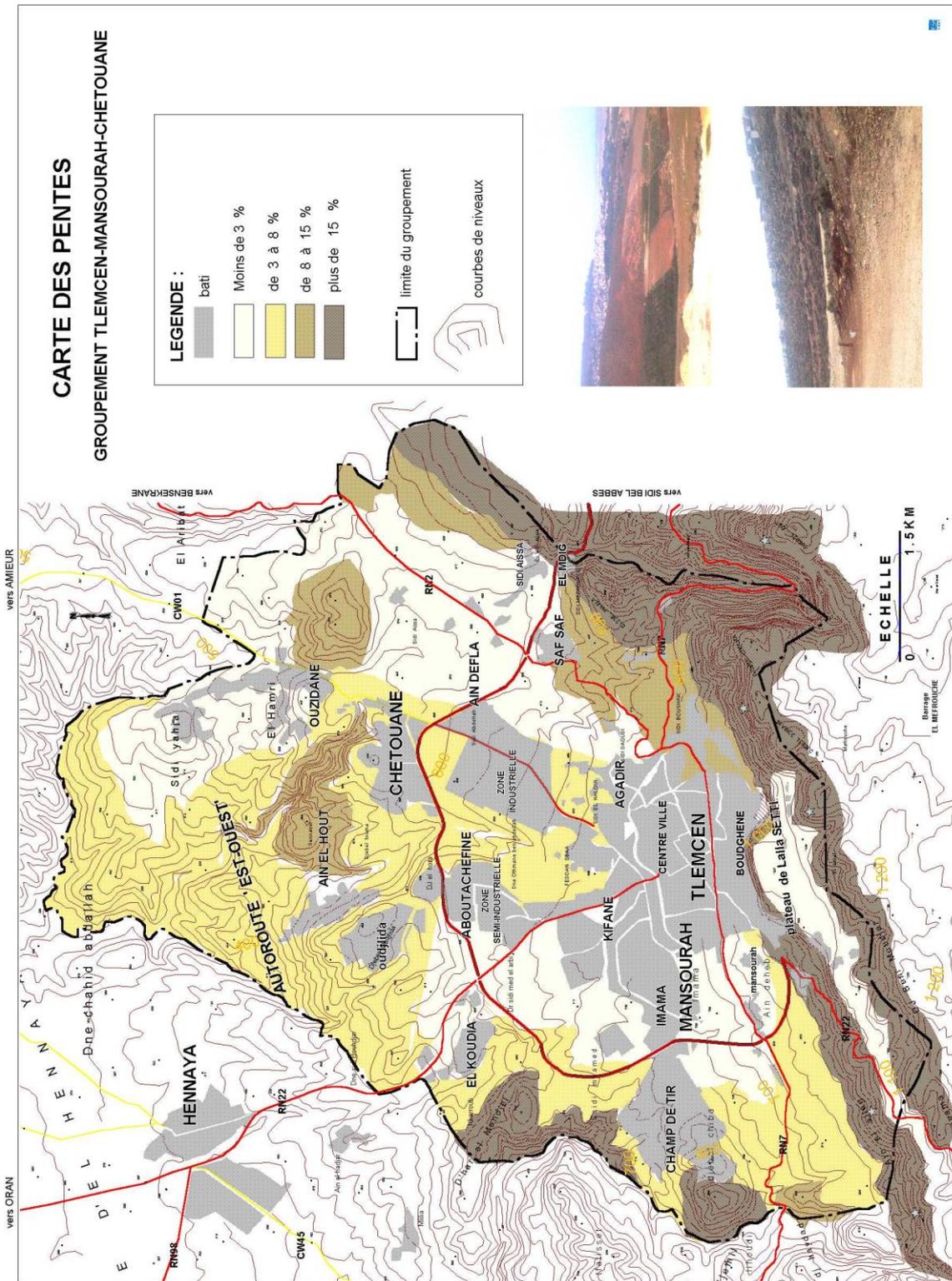


Figure N° 10 : Carte des pentes du groupement

1.2.2. Le Climat

La région de Tlemcen est sous l'influence du climat méditerranéen qui dépend des courants atmosphériques alimentés par le déplacement de l'anticyclone des Açores engendrant un climat chaud et sec durant l'été. Cependant au fur et à mesure que l'anticyclone remonte vers le nord de la méditerranée, il laisse place à des perturbations cycloniques froides et humides de courte durée.

Les précipitations, les températures sont des éléments décisifs du milieu naturel et nul n'ignore leurs impacts sur les différents facteurs du milieu.

Le climat de la région de Tlemcen est de type méditerranéen, caractérisé par une sécheresse estivale marquée et une période pluvieuse hivernale caractéristique : ceux-ci ont été confirmés par plusieurs auteurs notamment : (EMBERGER, 1930) ; (CONRAD, 1943) ; (SAUVAGE, 1963) ; (BORTELI et AL 1969) ; (EL HOUEROU in DAGET, 1980).

1.2.2.1 : Les précipitations : Un régime pluviométrique variable :

Le groupement de Tlemcen jouit d'un régime pluviométrique complexe influencé par le climat méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse (Septembre à Mai) et par un été sec. La pluviométrie est en fonction de l'altitude, elle est relativement abondante avec une variation inter annuelle importante. La moyenne calculée est de 560 mm/an. L'évapotranspiration potentielle est très importante. La quantité d'eau qui reste disponible pour le ruissellement et l'infiltration profonde atteinte 100 m/an.

La moyenne enregistrée en 62 ans (1924 – 1985) est de 630 mm. L'année la plus pluvieuse était 1950 avec un total de 1253 mm. Par contre l'année la plus sèche a été observée en 1983 avec un total de 292 mm.

Tableau N° 5 : Moyennes des précipitations

Périodes	Moyenne (mm)
1924 – 1945	630
1946 – 1976	715
1977 – 1985	466
1950	L'année la plus arrosée, 1253 mm
1983	L'année la plus sèche, 292 mm

Le climat se caractérise par deux saisons contrastées. La première, allant d'Octobre à Mai où se concentre le gros volume des précipitations. Le deuxième allant de Mai à Septembre est nettement plus sèche. Les précipitations sous forme de neige sont fréquentes au niveau des altitudes.

Les données des précipitations et des températures retenues dans le cadre de l'étude concerne la station météorologique de Saf Saf située à cinq km au nord du centre-ville de Tlemcen.

On a pris en considération les différentes observations, ancienne période (1913 – 1938, données Seltzer) et les données récentes (1980 -2015).

**Tableau N° 6 : Répartition des moyennes mensuelles des précipitations
(période 1913 - 1938)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P	75	91	84	65	59	25	2	5	24	52	83	73	638

**Tableau N° 7 : Répartition moyennes mensuelles des précipitations
(Période 1980 – 2015)**

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
41.9	47.1	50.1	35.1	29	6.3	1.2	3.8	14.8	25.5	49	40.8	345,2
9.1	10.1	12	14.1	16.8	19.2	22.1	22.2	19.7	17.2	13.5	9.7	16.5

Les précipitations mensuelles varient de 49 mm pour le mois de Novembre à 1.2 mm pour le mois de Juillet pour la nouvelle période et de de 83 mm pour le mois de Novembre à 2 mm pour le mois de Juillet pour l'ancienne période.

Pour ce qui est du régime saisonnier, L'année est divisée en 4 saisons de 3 mois pour chacune. L'examen du régime des précipitations annuelles, nous conduit à une comparaison chronologique de deux périodes : l'ancienne période, et la nouvelle période (O.N.M).

Pour faciliter le traitement des données climatiques, nous nous sommes basées sur le critère de (**DAGET, 1977**), qui considère les mois de Juin, juillet, Aout comme les mois de l'été, et qui définit l'été sous le climat méditerranéen qui est la saison la plus chaude et la moins arrosée. Le régime saisonnier est la répartition de la hauteur des précipitations annuelles entre les diverses périodes le plus souvent entre les mois de l'année.

Tableau N°08 : Variations saisonnières des précipitations (O.N.M, Saf Saf)

Période d'observation	Répartition saisonnière des pluies				Type
	H	P	E	A	
1913- 1938	239	208	32	159	HPAE
1980 – 2015	129,9	114,2	11,4	89,5	HPAE

1.2.2.2. Les Températures

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.

Pour une meilleure appréciation des variations des températures, quatre valeurs ayant une signification biologique doivent être connues à savoir :

- M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud.
- m : Moyenne des maxima du mois le plus froid.
- M-m : Amplitude thermique exprime la continentalité.
- T : Température moyenne.

Tableau N° 9 : Répartition des moyennes mensuelles des Températures (période 1913 - 1938)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
T	9	9.5	11.6	14.8	16.7	21.5	24.7	26	22.3	18	13.5	10	16.2

Tableau N° 10 : Répartition moyennes mensuelles des Températures (Période 1980 – 2015)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
T	9.1	10.1	12	14.1	16.8	19.2	22.1	22.2	19.7	17.2	13.5	9.7	16.5

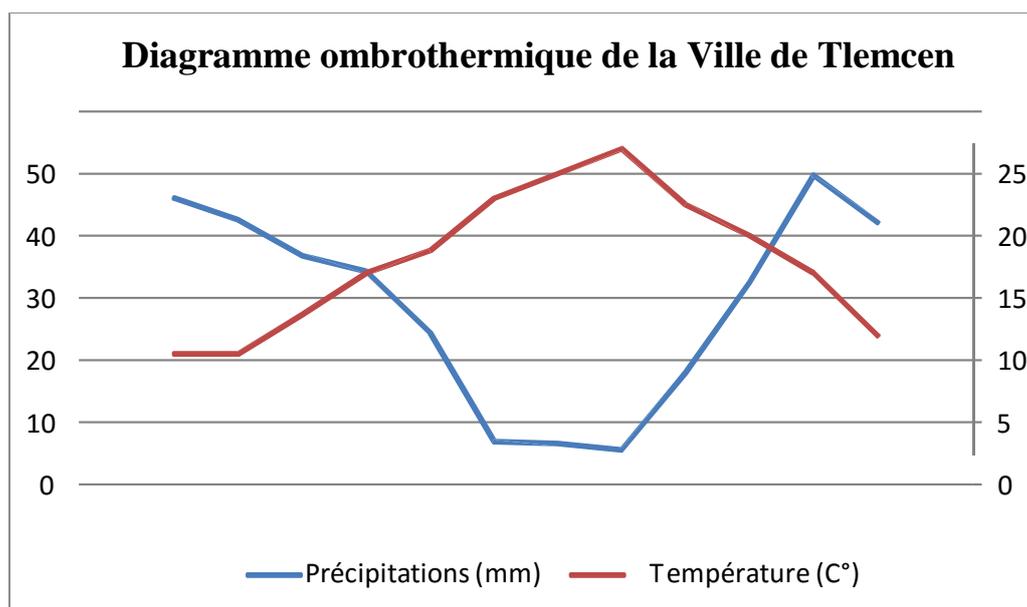


Figure N° 15 : Diagramme ombrothermique

Tableau N° 11 : Moyennes des températures du mois le chaud « M » et du mois le plus froid « m ».

Période	Altitude (m)	«M » (C°)	Mois	« m » (C°)	Mois
1913 - 1938	592	31,40	Aout	05,8	Janvier
1980 - 2015	592	31,2	Aout	02,9	Janvier

1.2.2.3. Indice de continentalité

L'indice de continentalité est défini par rapport à l'amplitude thermique. Selon **ALCARAZ (1982)** quatre types de climats peuvent être identifiés en fonction du M et m.

- Climat insulaire : $M-m < 15^{\circ}\text{C}$
- Climat Littoral : $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$
- Climat semi – continental : $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$
- Climat continental : $M-m > 35^{\circ}\text{C}$

Le calcul de cet indice caractérise la ville de Tlemcen par un climat semi continental.

Tableau N° 12 : Indice de continentalité

Période	M- m	Climat
1913 - 1938	25,6	Semi continental
1980 - 2015	28,3	Semi continental

1.2.2.4. Indice d'aridité de Martone

Cet indice permet d'étudier les rapports du climat avec la végétation et de positionner les stations météorologiques dans un climat précis. Il est défini par la relation suivante :

$$I = P / (T+10)$$

Avec :

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en C°.

En fonction de ses valeurs on pourrait avoir les types de climats suivant :

- $I < 5$ climat **hyper-aride**.
- $5 < I < 10$ climat **désertique**.
- $10 < I < 20$ climat **semi-aride**.
- $I > 20$ climat **humide**.

Pour le groupement de Tlemcen, la situation se présente comme suit :

Tableau N° 13 : Indice de Martone

Période	Précipitations (mm)	Températures (°C)	Indice de De Martonne	Type de climat
1913 - 1938	638	16,35	24,21	humide
1980 - 2015	345,2	15,5	13,54	semi-aride

Les valeurs de l'indice montrent clairement une tendance vers l'aridité durant les dernières années.

1.2.2.5. Indice xérothermique d'EMBERGER

Puisque le Q2 ne tient pas de la xérite du climat, **Emberger (1941)**, à la suite des travaux de **Giacoble (1937)**, a été amené à caractériser l'intensité de la sécheresse estivale par un autre indice S qui prend en considération les précipitations moyennes estivales (PE) et la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M). En ce sens, un climat ne peut être qualifié méditerranéen du point de vue phytogéographique que si $S < 7$.

Tableau N° 14 : Indice xérothermique d'EMBERGER

Période	PE (mm)	M (C°)	S = PE / M
1913 - 1936	32	31,40	1,01
1980 - 2015	11,3	31,2	0,36

1.2.2.6. Quotient Pluviométrique d'EMBERGER (Q2)

Cet indice permet de déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude, c'est le plus adapté au climat méditerranéen (**KECHAMLI, 1993**). Il est plus utilisé en Afrique du Nord. Il permet également permet aussi d'apprécier l'aridité des régimes méditerranéens.

$$Q2 = 2000P / (M + m) (M-m)$$

Pour sa part Steward (1969) a reformulé ce coefficient en proposant en proposant un autre coefficient Q3 plus adapté au contexte climatique algérien.

$$Q3 = Q_3 = 3,43 \times P/M-m$$

Les températures sont exprimées en ° k.

Tableau N° 15 : Quotients pluviothermique D'EMBERGER et de STEWART

Période	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q2	Q3	Etage
1913 1938	- 638	304,4	278,8	85,4	85,48	SH à hiver tempéré
1980 2015	- 345,2	304,2	275,9	42,05	41,84	SA à hiver frais

1.2.2.7. Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausсен

BAGNOULS et GAUSSEN (1953), considèrent un mois biologiquement sec, si les précipitations sont inférieures au double des températures.

Pour ce qui est du groupement de Tlemcen, on constate une tendance nette vers l'aridité. En effet la période sèche tend à s'accroître dans le temps. Elle est passée de quatre mois pour l'ancienne période à sept mois pour la nouvelle période, avec toutefois des irrégularités d'une année à une autre. On constate également un net décalage des saisons.

1.2.2.8. Le vent

La région de Tlemcen connaît tout au long de l'année des vents de direction et de vitesse variable. Les plus fréquents arrivent de l'ouest, mais ceux du sud-ouest et du nord-ouest sont surtout présents en automne et même en hiver. Ces vents sont généralement chargés d'humidité. En été, le « sirocco » venant du sud qui caractérise plus la région. Il est le plus redoutable pour la végétation.

Le tableau N° 17 représente la vitesse moyenne du vent au niveau de la ville de Tlemcen, prises de la station de Saf Saf entre 1980-2015.

Tableau N° 17 : Répartition de la vitesse moyenne du vent

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	A	N	D
Vitesse moyenne (Km/h)	7,62	7,93	7,72	8,54	8,47	8,71	8,61	8,2	7,54	6,78	7,47	9,92

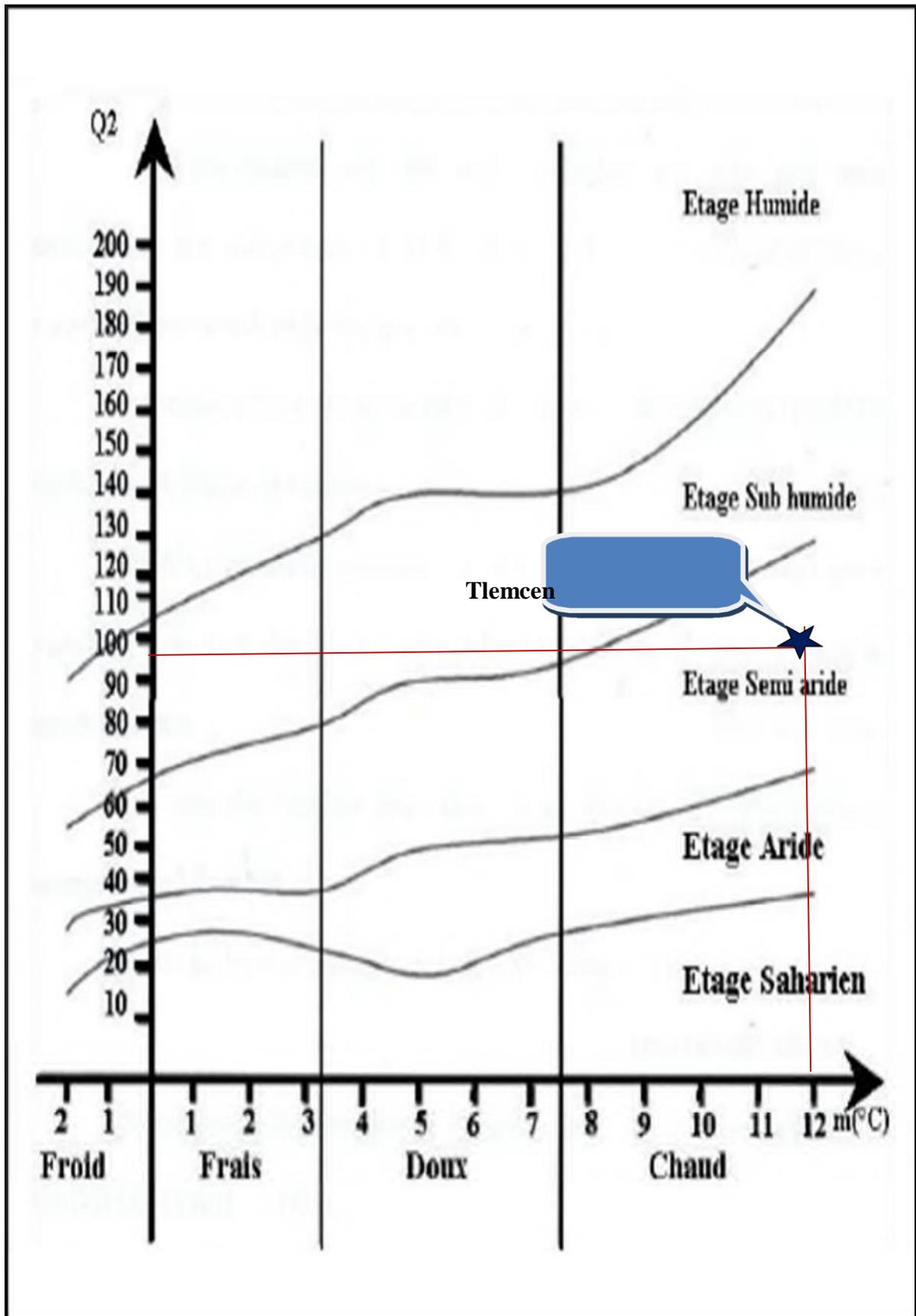


Figure N° 17 : Quotient pluviométrique d'EMBERGER

1.2.3. Le cadre humain :

L'histoire de Tlemcen remonte à la préhistoire avec la trame souvent dense, d'événements qui l'ont marqué, forgeant son âme millénaire. Des populations ont habité les grottes au faubourg d'El Kalaâ, sous le plateau de Lalla Setti et au village de Beni-Boublène près de Mansourah à l'époque préhistorique.

En terme de poids démographique, le groupement de Tlemcen occupait en 1998, le 8^{ème} rang dans la hiérarchie urbaine nationale avec 216843 habitants.

**Tableau N° 15 : Evolution de la population du groupement par dispersion
1966 – 1998**

Dispersion	1966	1977	T.A.G. 66/77	1987	T.A.G. 77/87	1998	T.A.G. 87/98
Agglomération Chef-Lieu	78047	102255	2,52 %	136724	3,11 %	173267	1,94 %
Agglomération Secondaire	9483	14145	3,76 %	24449	4,3 %	41537	5,95 %
Zone Eparses	5905	9146	4,12 %	590	-3,66	2039	-8,74
Total Groupement	93435	125546	2,76 %	167079	3,77 %	216843	2,33 %

Source : ONS, RGPH 1966, 1977, 1987 et 1998

Les estimations de la population à fin 2015 donnent un volume de l'ordre de 305 000 habitants.

1.2.4. Le réseau routier

En raison de sa position frontalière, Tlemcen est desservi par un réseau routier très dense lui facilitant les échanges avec le reste du territoire. Il s'étend sur un linéaire de 542 km (DTP, 2014).

Le réseau routier du groupement englobe d'une part un réseau inter agglomérations repérable selon la classification administrative en routes nationales, chemins de wilaya et chemins communaux et d'autre part, un réseau intra agglomérations. Le groupement est relié aux principales agglomérations de la wilaya et de la région par un réseau de routes nationales (RN.22 – RN.7 et RN.2), assurant la desserte du groupement urbain dans les quatre directions Nord – Sud, Est et Ouest. La direction Nord est la plus importante en matière de nombre d'agglomérations desservies.

Ce réseau présente dans l'ensemble des caractéristiques géométriques et un état jugé relativement satisfaisant. Ces axes assurent une intensité de trafic très intense confirmée par les opérations de comptage de trafic automobile. La densité du réseau routier total est de 5.2 km / km².

Au niveau du groupement Tlemcen, le réseau routier présente les caractéristiques suivantes :

Tableau N° 16 : Consistance du réseau routier du groupement

Communes	Consistance (km)	Largeur chaussée (m)	RN
Tlemcen	26,828	7	RN22, RN7et RN2
Mansourah	16,690	7	RN22, RN7
Chetouane	8,854	7	RN2
TOTAL	52,372	7	/

Pour ce qui est de la trame urbaine, le réseau de voirie est composé comme suit :

- ✓ Le réseau primaire, des voies et artères qui structurent l'agglomération
- ✓ Le réseau secondaire de desserte de quartier ou entité homogène
- ✓ Le réseau tertiaire de desserte à l'intérieur de chaque quartier

Tableau N° 17 : Caractéristiques du réseau urbain

Voies	Nature de la liaison	Caractéristiques
RN22	Pénétrante Nord	2 x 2 voies
Bd de 24m (L'ALN)	Rocade Sud (voie express)	2 x 2 voies
Bd Bab El Khemis	Radiale (hôpital)	4 voies
CW 01	Transversale TCV (Zone EST)	2 voies
Bd Imama	Transversale TCV (Zone Ouest)	2 x 2 voies
Bd Hamsali Sayah	Radiale (lycée Benzerdjeb)	3 voies
Bd Khedim Ali	Radiale (cimetière)	4 voies
Bd Kazi Aouel Med	Petite rocade Nord (PRC)	2 voies
CW 01	Radiale	2 voies et 2x2 voies
Rocade EST	Contournement	2 x 2 voies
RN 22	Pénétrante Sud	2 voies
RN 7	Pénétrante Ouest	2 voies
Rocade Ouest	Sud – Ouest	2 voies
Bd Imama	Transversale TCV	2 voies
Bd APC Mansourah	Radiale	2 voies

En considérant, le groupement urbain comme une seule entité qui développe des échanges internes, notamment les A/S, ainsi que des échanges externes avec le reste de la région, nous présentons, dans ce qui suit, l'analyse fonctionnelle du réseau, c'est à dire de son mode d'utilisation ou d'exploitation selon les différents types de trafic. Les liaisons d'échanges et de transit du groupement urbain avec le reste de la région, s'effectuent dans les quatre directions, à travers, la RN 22, la RN 7 et la RN 2 avec des niveaux de trafic importants.

Le réseau d'échange présente, une articulation cohérente pour l'ensemble des trois ACL du groupement, à l'exception du cas de Mansourah, qui présente dans les deux directions Nord et Ouest, des itinéraires alternatifs comportant une traversée d'agglomération. Et le cas de Chetouane dans la direction Sud qui dispose d'un itinéraire alternatif avec une traversée d'agglomération. L'ensemble des dessertes dans les différentes directions est assuré par l'intermédiaire d'un réseau de routes nationales de capacités suffisantes :

- ✓ RN22 : 2 x 2 voies (côte Nord) et 2 voies (Sud)
- ✓ RN 7 : 2 voies
- ✓ RN 2 : 2 voies
- ✓ Rocade : 2 x 2 voies
- ✓ Bd de L'ALN : 2 x 2 voies

L'accès au réseau principal, se fait par l'intermédiaire, de voies aux largeurs adéquates, les intersections sont traitées par des carrefours aménagés, selon les capacités. Par ailleurs, l'existence de plusieurs radiales : Bd Bab El Khémis, Bd Hamsali Sayah (Benzerdjeb), assurent une bonne distribution de ce trafic, en direction du centre-ville. En outre, la faible distance qui sépare ces zones du centre, permet des déplacements piétons intenses. L'absence de ligne de transport urbain pour la desserte de ces zones explique en partie cet état de fait.

L'accès au centre, emprunte des tronçons dont la charge est très importante et multi fonctionnelle. En effet, la petite «Rocade Nord» Boulevard Kazi Aouel Mohamed qui constitue le moyen d'accès au réseau principal, est extrêmement chargée du fait de sa multi fonctionnalité :

- ✓ Trafic d'échange
- ✓ Trafic de transit
- ✓ Trafic inter zones urbaines, particulièrement en direction des zones industrielles et semi industrielles.

Les accès à ces zones débouchent sur des points de conflits et de congestion permanente et l'aménagement des carrefours à lui seul, ne peut la solutionner. C'est le cas notamment pour les carrefours de Bab El Kermadine et Bab Sidi Boumediene. Les distances par rapport au centre-ville bien qu'importante, n'entrave en rien leur accessibilité, du fait de la présence du Bd de l'ALN et des radiales de grandes capacités tels que Bd Bab El Khémis, et la radiale du lycée Benzerdjeb (Bd Hamsali Sayah).

D'autre part, leur retrait par rapport à l'ancien centre, est atténué par la proximité des équipements et des services à caractère centraux (hôpital, PTT, Lycée, APC, etc.) ce qui réduit, en partie le nombre des déplacements avec les agglomérations secondaires. Ce réseau, est constitué par les différents tronçons de RN, Rocade, CW et CV. Il permet de relier les ACL de Tlemcen, Mansourah, Chetouane aux A/S de Koudia, Ain El Hout, Ain Defla, Saf Saf et M'Dig.

En regardant de près, les liaisons inter – agglomérations on remarque que Tlemcen fait figure de pôle, vu l'importance des itinéraires qui s'y concentrent. La rocade est l'axe qui articule le maximum d'agglomérations ; Mansourah, Chetouane et l'ensemble des agglomérations secondaires. Son rôle est capital pour le développement de l'ensemble urbain.

1.2.5. Transport et circulation

Le caractère stratégique de la fonction transport et déplacement dans une approche urbaine prospective, nécessite au préalable de situer le groupement dans l'ensemble territorial en identifiant ses fonctions et vocations dans la dynamique économique actuelle et future. Le

territoire du groupement, est appelé à connaître une croissance démographique prévisionnelle qui porterait sa population à 350 000 habitants à l’horizon 2020. Il s’agirait par la présente approche de formuler un modèle de transport qui serait le mieux adapté et répondrait aux tendances générales d’évolution des besoins en transports et déplacements à l’échelle du groupement à l’horizon 2020.

Tlemcen, ville chef lieu de Wilaya, demeure une destination d’accueil pour un ensemble de flux de déplacements en provenance de l’ensemble des zones de la wilaya (relations intra wilaya) et les flux de transport en direction et en provenance d’autres wilayas du pays (transport inter wilaya). Le groupement urbain, constitue le cadre d’affirmation des relations d’activités et d’échanges justifiant les différents motifs de déplacement.

La ville de Tlemcen et Mansourah, concentrent les principaux équipements et établissements administratifs de service (Directions et services déconcentrés de l’Etat – Institutions bancaires et financières) et demeurent des pôles essentiels pour les fonctions de distribution et de commerce. L’amplitude de ces déplacements est déterminée en rapport avec la distribution spatiale des principaux équipements générateurs et dont l’importance serait appréciée dans la deuxième partie du présent dossier (principaux flux de transport).

La relation domicile – emploi, se trouve prépondérante et concerne une population importante et qui travaille au niveau de la zone industrielle de Tlemcen et semi industrielle d’Abou -Tachfine. Le second indicateur démo-économique prioritaire, se rapporte à une catégorie de population à caractère homogène et d’importance numérique, et concerne la population scolaire et universitaire.

Tableau N° 18 : Réseau et offre de transport urbain groupement

Lignes	Nombre d’opérateurs	véhicules	Capacité offerte	% Par rapport à l’offre total (place offerte)
Aboutachfine	17	22	1300	08
Oudjlida (02)	32	40	2400	18
Aïn El Hout par A. Tachfine	02	05	320	01
Mansourah Riat Boudghène	05	07	120	01
Koudia par Aboutachfine	45	78	3506	20
Chetouane	31	63	2200	13
Chetouane Ouzidane	24	36	1200	07
Chetouane Aïn El Hout	06	07	280	02
Bouhenak par Kiffane/Imama	41	71	3020	24
Bouhenak par Imama	19	29	1000	06
Saf Saf	03	05	30	--

Source : Direction des transports : 2015

A cela s’ajoutent les transports spécifiques, qui sont complémentaires aux transports collectifs. Ils concernent :

- Les transports collectifs par Taxi
- Le transport scolaire
- Le transport universitaire

- Le transport du personnel

1.2.6. Le parc automobile

Le parc automobile est estimé à 223 527 véhicules tous types confondus (service automobile, 2014). Il présente une forte hétérogénéité tant sur le plan type et âge des véhicules et la nature du carburant. Les véhicules de type léger représentent environ 55 % du total. Concernant la nature du carburant, les voitures diesel continuent toujours à constituer une part non négligeable du total avec un taux de 41.6 %. Cet état de fait est encouragé par des prix relativement compétitifs du gasoil par rapport à l'essence. L'usage du GPL demeure encore faible malgré de multiples campagnes de vulgarisation et de sensibilisation pour la généralisation de l'usage des énergies propres.

Pour ce qui est de la répartition des véhicules par structure d'âge, on remarque une forte tendance à son rajeunissement durant les dix dernières années. Les véhicules de moins de cinq ans occupent environ 32 % du parc total. Néanmoins les statistiques de l'année 2014, du service automobile, montrent que les véhicules âgés de plus de dix ans occupent encore près de 59 % du total.

1.2.7. Les enjeux environnementaux

Les principaux enjeux environnementaux du groupement peuvent se résumés comme suit :

- ❖ **Les eaux usées urbaines** de la ville de Tlemcen, aboutissent au point de rejet principal au niveau de Fedden Sebâa, ce qui pose le problème de contamination des nappes phréatiques. Pour une dotation de 200 l/j/hab affectée à la population de 236000 habitants, il en découle un volume annuel d'eaux usées rejetées de 17 Mm³/an. A l'horizon 2025, la population attendue de 350000 habitants, rejettera près de 25 Mm³/an d'eaux usées.
- ❖ évalués à près de 80700 tonnes/an la quantité de déchets domestiques ménagers générés par les habitants du groupement pour une norme de 0,7 Kg/hab/j. Selon l'étude du plan directeur de gestion des déchets solides urbains élaborée par l'Agence TAD, les moyens matériels affectés pour la collecte des ordures ménagers, sont de l'ordre de 58 engins (tous types confondus). En 2025, il sera question de 100000 tonnes/an de déchets solides. L'unité E.R.A.T.O.M de Saf Saf ne traite que 50 % des déchets. Il est nécessaire d'engager une étude d'actualisation de collecte et de gestion des déchets au niveau de tout le périmètre du groupement.
- ❖ **La pollution industrielle** : La mauvaise gestion des déchets solides générés par les unités industrielles leur confère un caractère potentiel de pollution et de dégradation du cadre de vie. Les eaux résiduaires de la zone industrielle chargées en produits chimiques, métaux lourds substances toxiques déversées dans les cours d'eau qui affluent vers Oued Sikkak puis vers Oued Tafna traversant les jardins du croissant fertile. On estime à 17000 M³/j le volume d'eaux résiduaires industrielles déversé dans Oued Saf Saf dont 30 % revient aux unités de l'ENTC et SOITINE

Les eaux usées industrielles continuent à être déversées directement dans le milieu naturel sans traitement préalable. Des dispositifs de traitement des eaux résiduaires industrielles ont été mis en place pour beaucoup d'entre elles. D'autres unités disposent de stations de traitement mais sont actuellement confrontées à des pannes récurrentes c'est le cas de la SOITINE de Tlemcen pourtant classée «fortement polluante».

Certaines unités également responsables de la pollution du bassin versant de la Tafna ne disposent toujours pas de dispositifs de traitement appropriés de leurs eaux résiduaires tels que MANTAL ex COUVERTEX (Tlemcen), l'unité textile le rouet (Chetouane), et les unités de maintenance qui rejettent de grandes quantités de graisse et d'hydrocarbures.

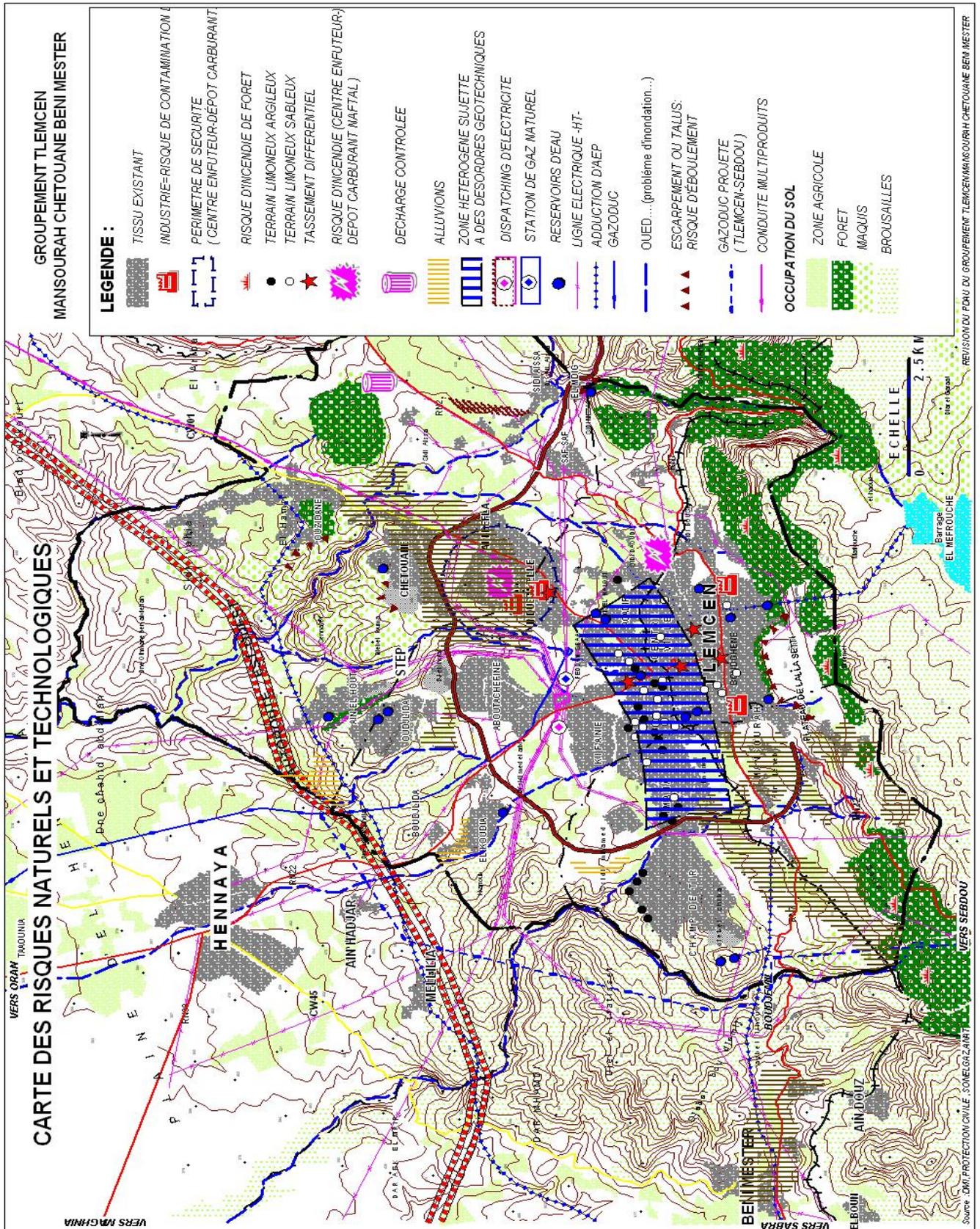


Figure N° 14 : Carte de risques technologiques et industriels

Chapitre II

Protocole expérimental

Chapitre II. Protocole expérimental

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, on préconise l'élaboration d'une cartographie de certains polluants métallique notamment le plomb, le zinc et le cuivre en utilisant les mousses et les lichens comme bioaccumulateurs de ces éléments polluants au niveau du périmètre urbain du grand Tlemcen, dans un souci d'estimer la pollution atmosphérique.

La technique de transplantation des mousses et des lichens a été inspirée de la méthode décrite par (Samadi et Druelle, 1993).

2.1. Technique de transplantation

Les premières techniques de transplantation ont été mises 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 Samadi et Druelle (1993) propose de fixer les disques d'écorce sur des planches.

On estime que le dépôt de transplants d'une zone non polluée à une zone polluée peut être interprété 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 c'est-à-dire que la croissance ne s'effectuant pas en laboratoire.

Les méthodes la plus couramment utilisées sont le dosage dans les feuilles des mousses ou les thalles des lichens prélevées sur le site d'étude (Druelle, 1981 ; Maatoug *et al.*, 2010). Dans le cadre de la biosurveillance de la qualité de l'air du groupement urbain de Tlemcen, on s'est basé sur la méthode de Brodo (1961), qui consiste à transplanter des lichens originaire d'un site de références exempt de contamination dans des sites pollués.

Dans le cas de notre étude nous avons utilisé, deux espèces de lichens à savoir *Xanthoria parietina* et *Parmelia sulcata* et une espèce de mousse *Bryum argenteum*.

Les techniques de transplantation prévoient des règles d'implantation qui prennent en considération la hauteur, la nature des supports et la distance par rapport aux axes routiers. En

effet, les sites de transplant doivent être placés à une distance maximale de tout trafic routier d'au moins 50 mètres.

De plus, les échantillons 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). Pour faciliter l'absorption.

Une fois transplantés, chaque échantillon est attribué d'un code avec des coordonnées géographiques pour faciliter ultérieurement les travaux au laboratoire et ne pas avoir de confusion.

Certaines mesures doivent être également prises en considération avant la transplantation pour ne pas fausser les résultats. On citera notamment :

- Eviter de contaminer les mousses avant transplantation. Par l'usage de sachets en papier ;
- Bien arrosé avant transplantation avec de l'eau déminéralisée pour faciliter l'ouverture des talles et augmenter par conséquent la surface de contact ;
- Manipuler avec des gants pour éviter toute contamination ;
- Bien fixer les échantillons transplantés pour éviter leur consolidation avec le support,
- Prendre le maximum d'information sur l'emplacement du site de transplantation pour éviter un éventuelle égarement (nom de la rue, la proximité d'un équipement etc.) ;
- Transplanter plusieurs échantillons pour avoir une quantité suffisante pour avoir une quantité suffisante de poids sec et faciliter ultérieurement le travail au laboratoire.

La durée moyenne de transplantation préconisée est de 30 à 35 jours pour éviter ou du moins minimiser d'éventuelles perturbations physiologiques des échantillons transplantés.

2.2. Choix du site de prélèvement

Les techniques de prélèvement consistent à prélever des échantillons dans un milieu relativement sain. C'est-à-dire dans des milieux plus ou moins retirés et où on estime la pollution comme étant négligeable ou moindre. Pour cette raison nous avons opté pour le parc national de Tlemcen.

Le parc national de Tlemcen est situé au sud de la ville de Tlemcen. Il s'étend sur une superficie de 8250 ha. Les altitudes varient entre 1000 et 1500 ha.

Ce site a été choisi pour la simple raison qu'il présente des conditions écologiques similaires que la zone urbaine du groupement. En ce sens les échantillons prélevés n'auront pas à subir des perturbations physiologiques notamment des stress hydriques qui pourront éventuellement être générés par des changements climatiques.

De plus on a ciblé la zone du parc qui subit la moindre pression anthropique et de ce fait toute source majeure de pollution. Le choix a porté sur la zone sud-ouest en l'occurrence la forêt de chêne liège de Hafir. Cette condition est fortement recommandée par les techniques de transplantation. Il faudrait que le site de référence de prélèvement, soit situé en dehors des zones urbaines.

De plus, pour renforcer les mesures de sécurité et éviter toute contamination éventuelle, les échantillons ont été prélevés au niveau de la zone militaire (zone reculée au fond de la forêt) avec un accès très restreint à une profondeur de km environ.

Les prélèvements ont été opérés au niveau de zones découvertes, ou le cas échéant au niveau de clairières. On a également choisis des zones non influencées par les ruissellements de troncs et prélevé préférentiellement des échantillons qui poussent sur le sol ou les souches d'arbres. Il a aussi évité de prélever les mousses et les lichens sous les buissons et les herbes à feuilles larges, ainsi que sur des zones à forte pente où l'eau risque de s'écouler.

Une fois prélevés les échantillons ont été mis dans des sachets en papiers, étiquetés puis fermés de manière à éviter toute forme de contamination éventuelle durant le transport et avant leur transplantation.

S'agissant de la première étude du genre au niveau du groupement de Tlemcen, il a été procédé à un échantillonnage systématique de manière à balayer tout le périmètre urbain. Pour ce faire, on a procédé à un maillage de la ville. Le périmètre a été découpé en mailles et dans chaque maille ou intersection de maille, on a transplanté quelques échantillons de mousses et lichens. La taille moyenne des mailles est de (0.4 à 0.5 x 0.5 km) (Garrec, Van Haluwyn, 1981).

A cet effet 123 échantillons de mousses et lichen ont été transplantés. Le travail a été opéré la nuit de façon à ne pas attirer d'attention pour la préservation des échantillons.

Malheureusement et malgré les mesures de précaution prises, près de la moitié des échantillons se sont perdus ou égarés. Seuls les échantillons récupérés ont fait l'objet de traitement.

2.3. Choix des espèces transplantées

Les mousses et les lichens sont des espèces qui prospèrent dans un climat humide. Elles ont été utilisées comme bioindicateurs dans de nombreux pays pour évaluer la pollution atmosphérique par la détermination des concentrations en éléments traces métalliques.

De par leurs propriétés morphologiques et physiologiques, les mousses et les lichens sont reconnues et confirmés comme étant d'excellents capteurs des métaux atmosphériques (Onianwa 2001 ; Zechmeister et *al.*, 2003a).

L'emploi de ces espèces dans la biosurveillance de la qualité de l'air repose sur plusieurs critères. On citera à titre d'exemple les caractéristiques citées par Tyler (1990).

- 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 minimale dans la nutrition de ces espèces.
- L'absence ou le faible développement de cuticule protectrice, facilite la perméabilité des tissus à l'eau et aux minéraux, incluant les ions métalliques.
- Les parois cellulaires contiennent de nombreux sites de fixation (ligands) chargés négativement qui vont efficacement capturer et retenir les cations métalliques.
- Abondance et distribution régulière de ces d'espèces au niveau de toute l'étendue du parc.

2.4. Caractérisation des espèces transplantées

2.4.1. Le Lichen *Xanthoria parietina*

Xanthoria parietina est un lichen d'assez grande taille, dont le diamètre des thalles individuels dépasse rarement huit centimètres, mais peut exceptionnellement atteindre une quinzaine de centimètres. L'espèce peut toutefois occuper des surfaces considérables, de nombreux thalles pouvant coexister sur un même support, voire confluer en plaques étendues Smith (2009).

Il s'agit d'une espèce foliacée dont les lobes, disposés en rosette, sont le plus souvent appliqués sur le substrat. L'extrémité des lobes est large et arrondie. Les rosettes ont parfois un aspect plissé, en particulier chez les exemplaires âgés. La face inférieure du thalle est blanchâtre et comporte quelques rhizines (fausses radicelles, issues de la soudure de poils, fixant le thalle à son support).

Comme pour les autres représentants du genre *Xanthoria* et la plupart des représentants de l'ordre des Teloschistales auquel il appartient, la couleur de ce lichen varie du jaune à l'orangé. Cette coloration est due à la présence dans le cortex d'une substance sécrétée par le champignon, la pariétine, un composé de la famille des anthraquinones. L'intensité de cette coloration est très variable, et l'on observe parfois, surtout à l'ombre, des thalles plus ternes, d'un gris-vert sans trace apparente de jaune Smith (2009). Il a été montré que la quantité de pariétine dans le cortex variait fortement en fonction de l'éclairement, les thalles situés en pleine lumière dans les falaises contenant en moyenne cinq fois plus de ce composé que ceux vivant dans les sous-bois, en particulier de conifères Gaussla (2003). On peut retrouver un gradient de même nature au sein d'un thalle unique : les parties situées sur la face supérieure des branches sont normalement jaunes alors que les zones situées à la face inférieure sont parfois plus ou moins verdâtres.

Xanthoria parietina est une espèce cosmopolite, qui ne semble manquer que sur le continent Antarctique : elle habite essentiellement les régions tempérées d'Europe, d'Asie, d'Afrique, d'Amérique du Nord, d'Amérique du Sud et d'Australasie (Lindblom, 2006).



Figure N° 15 : *Xanthoria parietina*

Reproduction :

Le thalle, presque toujours fertile, est recouvert généralement en son centre d'apothécies en forme de coupes orangées de un à quatre millimètres de diamètre. Les premiers stades de ces apothécies peuvent déjà apparaître sur de très jeunes thalles. Ces structures, organes de la reproduction sexuée, donnent naissance à des ascospores, disséminées par le vent, l'eau ou les fèces des animaux qui se nourrissent des *Xanthoria*. Le développement de nouveaux thalles à partir d'ascospores ainsi disséminées nécessite toutefois la rencontre avec des cellules algales du genre *Trebouxia*, rares dans la nature ; or, le tube digestif et les fèces des acariens oribates associés à *Xanthoria parietina* (*Trhypochtonius tectorum* et *Trichoribates trimaculatus*) contiennent à la fois des ascospores du lichen et des cellules algales de son symbiote, ce qui pourrait faciliter le démarrage de nouveaux thalles (Meier, 2002).

Dépourvu des propagules habituelles des lichens (sorédies, isidies...), *Xanthoria parietina* peut néanmoins recourir à certaines formes de multiplication végétative. Du fait d'un fort pouvoir de régénération, des fragments de thalle résultant du fractionnement de la partie centrale de thalles âgés peuvent, dans des conditions favorables, se comporter en « boutures » et être à l'origine de nouveaux thalles (Honegger, 1998) .

Systématique :

Règne : Funji

Division : Ascomycota

S/Embranchement : Pezizomycotina

Classe : Lecanoromycetes

Ordre : Telochistales

Famille : Telochistaceae

Genre : *Xanthoria*

Espèce : *Xanthoria parietina* Beltr

2.4.2. Le Lichen *Parmelia sulcata*

Comme chez de nombreuses espèces de *Parmelia*, le thalle est constitué de nombreux lobes assez étroits, jusqu'à 5 mm de large et se chevauchant généralement les uns les autres. Faiblement adhérent au substrat, il forme des rosettes pouvant atteindre une dizaine de centimètres de diamètre quand il est isolé, mais peut s'étaler sur une vingtaine de centimètres par juxtaposition de plusieurs thalles.

La face supérieure est le plus souvent d'un gris-vert glauque, légèrement bleuté. Caractéristique du genre *Parmelia*, l'extrémité des lobes est parcourue par un réseau de lignes blanches (pseudocyphelles). La face inférieure est noire, plus brune vers l'extrémité des lobes, pourvue de rhizines simples ou fourchues.



Figure N° 16 : *Parmelia sulcata*

Systematique :

Règne : Funji

S/Règne : Dicarya

Division : Ascomycota

S/ Embranchement : Pezizomycotina

Classe : Lecanoromycetes

Ordre : Lecanorales

Famille : Parmeliaceae

Genre : *Parmelia*

Espèce : *Parmelia sulcata* Thomas Taylor

2.3.3. La Mousse *Bryum argenteum*

Bryum argenteum, le **bryum d'argent**, est une mousse rustique et assez commune, dont la particularité dans le genre *Bryum*, est son aspect argenté. Elle se développe typiquement dans les interstices des rues piétonnes, en compagnie de *Sagina procumbens*.

Plante non ramifiée ou dichotome de 0,5 à 1,5 cm de long, *Bryum argenteum* 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 hyalin ou de couleur toute verte dans les stations humides et ombragées Jahns, Délachaux, et B=Niestlé (1989).

Elle présente de nombreuses formes sur calcaire sec ou humide, sur le sable ou les graviers. Relativement insensible aux contraintes mécaniques, c'est une espèce pionnière. Elle peut donc se glisser dans les fissures des architectures citadines. Elle forme, avec la caryophyllacée *Sagina procumbens*, le syntaxon *Bryo-Saginetum procumbentis* que l'on retrouve typiquement dans les interstices des pavés ou dans les murs (Arnal, Bock, et Bournérias ,2002).

Il importe de mentionner que les variations pluriannuelles depuis 1957 de l'épaisseur de la couche d'ozone dans l'antarctique peuvent aussi être mesurées par le taux de flavonoïdes contenus dans cette mousse conservée dans des herbiers Ryan Ken (2009).



Figure N° 17 : *Bryum argenteum*

Systematique :

Règne : Plantae

Division : Bryophyta

S/Embranchement : Musci

Classe : Bryopsida

S/Classe Bryidae

Ordre : Bryales

Famille : Bryaceae

Genre : *Bryum*

Espèce : *Bryum argenteum Hedw*

2.5. Traitement des échantillons au laboratoire

La méthode utilisée pour le dosage des métaux dans les échantillons de mousses et lichen, est celle agréée par le centre entre d'études sur les réseaux, le transport, l'urbanisme et les constructions technique (CERTU, 2004).

Elle consiste aux opérations suivantes :

2.5.1. Déshydratation

Cette étape consiste à déshydrater les thalles de lichens et de mousses dans une étuve à 105° C pendant 72 heures. Après la déshydratation, les thalles, ont été pesés pour définir le poids de la matière sèche MS.

2.5.2. Broyage

Le broyage des thalles est une étape très délicate étant donné que les thalles peuvent subir une contamination ou une perte. Le broyeur utilisé est constitué d'acier garanti sans « métaux lourds ». Les thalles sont broyés jusqu'à obtention d'une poudre fine.



Figure N° 18 : Broyage des lichens et des mousses

2.5.3. Calcination

La poudre obtenue est calcinée, à l'aide de capsules en quartz, dans un four à 500°C pendant une durée de trois heures.

2.5.4. Minéralisation et mise en solution

La minéralisation permet le retour des éléments sous forme inorganique. La poudre obtenue après calcination est attaquée par 3 acides différents :

- **L'acide fluorhydrique HF** : pour 1g d'échantillon obtenu il a été ajouté 5ml d'acide fluorhydrique, puis le mélange est mis dans un bain de sable jusqu'à évaporation ;
- **L'acide perchlorique ClO_4** : on ajoute 3ml d'acide perchlorique sur la solution obtenue après évaporation. Le mélange est remis dans le bain de sable jusqu'à évaporation ;
- **L'acide nitrique HNO_3** : on ajoute 1ml d'acide nitrique sur la solution après évaporation. On pose le mélange dans le bain de sable quelques minutes et on laisse refroidir pendant 30 minutes.



Figure N° 19 : évaporation des échantillons dans le bain de sable

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

2.5.5. La mise en solution

Les échantillons préparés sont complétés par 100ml d'eau distillée



Figure N° 20 : Mise en solution des échantillons

2.5. Dosage des échantillons

Le dosage des échantillons a été effectué par un spectrophotomètre à absorption atomique à flamme. On a dosé le Plomb, le zinc et le cuivre.

Pour chaque concentration correspond une absorbance qui permet de tracer une courbe d'étalonnage. Cette dernière permettra de donner la concentration de chaque métal contenu dans les solutions préparées.

Chapitre III

Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

3.1. Étude de la variabilité des teneurs en éléments traces métalliques

La teneur en éléments ETM (Pb, Cu et Zn), dans les trois espèces montre une forte variation entre les différents sites de transplantation choisis au niveau du groupement urbain.

En effet les concentrations moyennes varient de :

- 328,23 à 1145,78 $\mu\text{g/g}$ pour le plomb
- 398.14 à 1150 $\mu\text{g/g}$ pour le zinc
- 210.14 à 402 $\mu\text{g/g}$ pour le cuivre

Ces valeurs obtenues sont de loin supérieures aux échantillons témoins. Cette situation témoigne de l'ampleur du niveau de pollution que connaît la ville de Tlemcen. Cette situation s'explique en grande partie par l'accroissement excessif du parc automobile.

Par espèce la situation se présente comme suit :

3.1.1. Les lichens

3.1.1.1. Le lichen *Xanthoria parietina*

Cas du Plomb :

La classification automatique des 43 échantillons dosés a permis de dégager trois classes de pollution bien distinctes qui manifestent les degrés de pollution d'un site à un autre. Les résultats sont illustrés dans la figure N°21

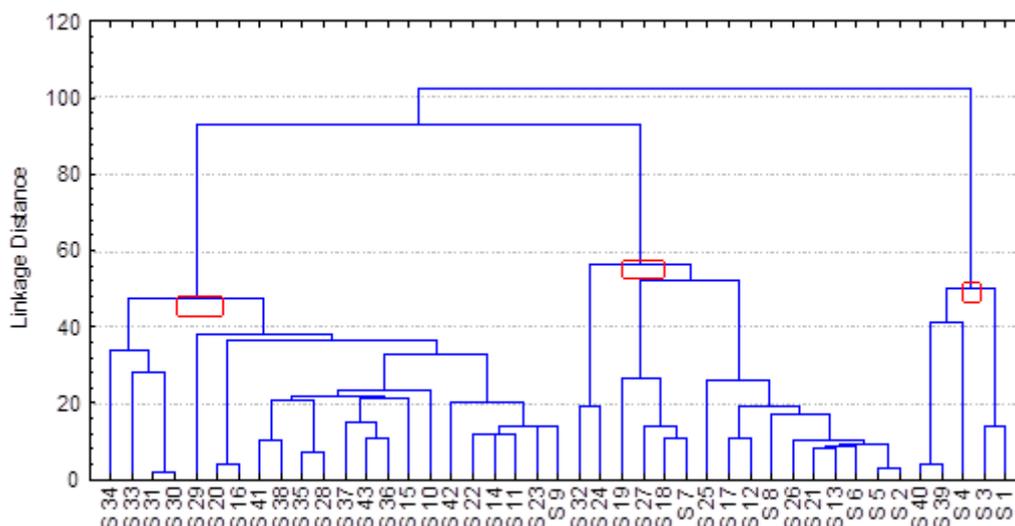


Figure N° 21 : Classes de pollution en plomb selon la classification automatique des données dans le lichen *Xanthoria parietina*

Les classes 2 et 3 rassemblent les sites les plus pollués. Par ailleurs, la classe 1 regroupe les sites où la pollution est moins ressentie.

Les fortes concentrations en plomb sont donc enregistrées au niveau de la classe 3 avec une moyenne de l'ordre de $1137.59 \pm 11.47 \mu\text{g/g}$.

La classe 1 regroupe donc les sites les plus pollués notamment le centre villes et les grandes artères qui concentrent les principaux équipements et services . Cette situation est d'autant plus accentuée par la topographie très accidentée du site de l'agglomération. Cet état de fait génère des problèmes accentués de circulation avec des remontées de filles très longues. L'exiguïté et l'étroitesse des rues permettent une mauvaise circulation des gaz générés par les moteurs des véhicules.

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.

A côté du centre-ville on note également la zone du siège de la wilaya, la zone de Bab Ouahran, l'hôpital Tidjani Damardji et la zone de commerce artisanale de Kaisaria.

Tableau N° 19 : Statistique descriptive des classes de pollution en plomb du lichen *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3eme Quartile	Ecart type
classe 1	22	472.52	563,001	378.96	568.92	689,14	524,26	13,15
classe 2	16	855.21	923,65	780.56	958.22	1022,23	859,67	22,49
classe 3	5	1137.59	1156,04	1122.23	1145.56	1192,13	1141,81	46,47
Témoins		17.85	19,27	17.25	19.44	21,14	17,25	21,14

La classe 2 laisse apparaitre beaucoup de sites (16 échantillons environ) avec des émissions de plomb relativement moindre. Ces sites représentent en général la zone attenante au centre-ville. La moyenne obtenue est de l'ordre de $855.21 \pm 22,49 \mu\text{g/g}$. elle est représentée par les sites de Kiffane, Imama, les accès nord et sud de la ville en particulier (Hai Zeitoun, Station Ouahiani, ancienne Imama etc.)

La classe 1 quant à elle avec une moyenne de $472,52 \pm 13.5 \mu\text{g/g}$ affiche néanmoins des concentrations fortement inférieures aux deux classes précédentes. Toutefois ces valeurs restent fortement supérieures aux valeurs des échantillons témoins (tableau N° 19). Les résultats montrent que même les quartiers situés en retrait par rapport aux grandes voies de communication sont affectés par la pollution du plomb d'origine routière. On citera à titre d'exemple la cité résidentielle de Koudia, Bouhennak, Abou Tachfine, Chetouane et Birouana et le quartier de Kalaa.

Cas du Zinc :

Les résultats de la classification automatique effectuée sur les données observées dans la ville de Tiaret sont représentés dans la figure N° 22. Cette dernière a permis de faire ressortir quatre classes bien distinctes telles que figurées dans le tableau N° 20.

Les teneurs moyennes en zinc varient entre $385,04 \pm 66,20$ à $1198,90 \pm 32,05$ $\mu\text{g/g}$. ces valeurs sont largement supérieures aux échantillons témoins.

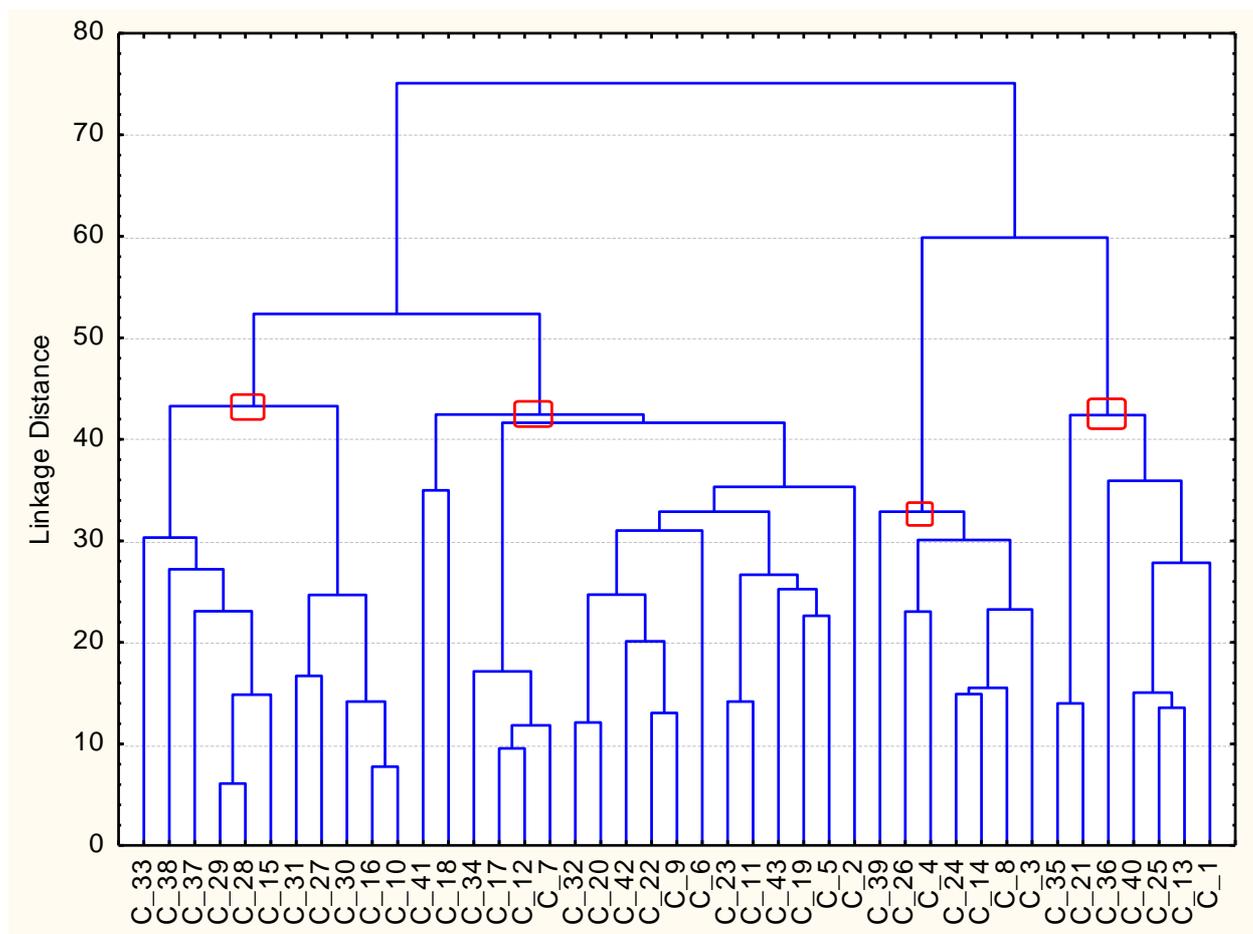


Figure N° 22 : Classes de pollution en Zinc selon la classification automatique des données dans le lichen *Xanthoria parietina*

Les plus fortes concentrations en zinc sont enregistrées dans la classe 04 avec une moyenne de l'ordre de $1157,41$ $\mu\text{g/g}$. 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.

Les classes 2 et 3 regroupent les sites où les concentrations en zinc sont relativement inférieures à la classe 4. Les moyennes enregistrées sont respectivement de $772,59$ et $1019,71$ $\mu\text{g/g}$. 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 en zinc sont moindres par rapports aux autres classes. La moyenne enregistrée est de l'ordre de $477,48 \pm 66,20 \mu\text{g/g}$.

Cette classe caractérise les sites situés en retrait par rapport aux voies de communication ainsi que dans des zones résidentielles plus ou moins retirées du centre-ville. Elles connaissent par conséquent un trafic routier relativement moindre comparativement avec les autres secteurs.

Tableau N° 19 : Statistique descriptive des classes de pollution en zinc du lichen *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3eme Quartile	Ecart type
classe 1	11	477,48	385,04	560,14	415,10	552,96	66,20
classe 2	18	772,59	611,89	905,14	710,23	850,23	91,04
classe 3	7	1019,71	980,17	1058,35	987,02	1047,28	29,31
Classe 4	7	1157,41	1117,01	1198,90	1125,13	1198,79	32,05
Témoins	5	57,30	42,56	78,23	48,26	65,12	14,34

La figure N° 23 confirme les données du Tableau N° 19. Elle montre clairement que les fortes concentrations en zinc sont enregistrées au niveau de la classe 4 avec une moyenne de $1157,41 \mu\text{g/g}$ et un maximum $1198,90 \mu\text{g/g}$.

Ces valeurs sont excessivement supérieures à celles des échantillons témoins qui ont une moyenne de $57,30 \mu\text{g/g}$ et un maximum de $78,23 \mu\text{g/g}$.

La classe 4 apparait nettement différenciée par rapport aux autres classes concernant la concentration en zinc.

Les classes 2 et 3 s'affichent au-dessous de la classe 4, néanmoins, les concentrations demeurent encore très élevées. La classe 3 mentionne une concentration un maximum de l'ordre de $1058,35 \mu\text{g/g}$. Pour sa part la classe 2 affiche un maximum de $710,23$.

Enfin la classe 1 se caractérise par une moyenne relativement avec une moyenne de $477,48 \mu\text{g/g}$. certes, cette classe apparait comme étant la moins polluée, néanmoins elle est largement supérieure aux valeurs des témoins.

Il importe enfin de mentionner que Les fortes concentrations observées soulèvent plus d'une question. Certes le trafic automobile génère des pollutions en zinc, mais n'explique pas la totalité des quantités observées. Dans ce contexte l'unité Alzinc de Ghazaouet située à une soixantaine de km à vol d'oiseau de Tlemcen pourrait être éventuellement à l'origine de ce plomb. Une étude complémentaire doit être envisagée pour confirmer cette hypothèse.

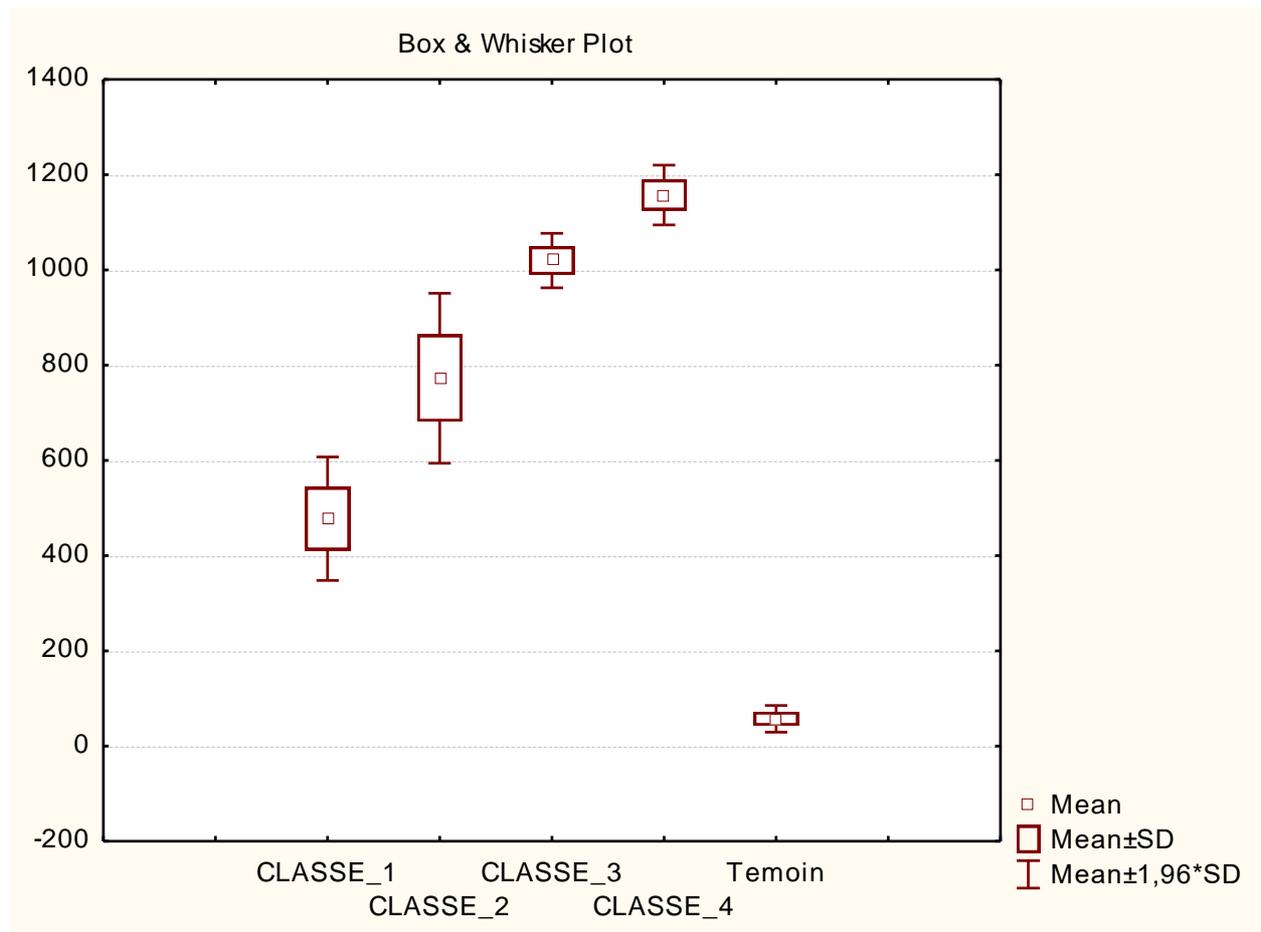


Figure 22 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution

Cas du cuivre :

La figure 24 illustre les résultats de la classification automatique des concentrations en cuivre sur les échantillons de *Xanthoria parietina* au niveau de la ville de Tlemcen.

Cette dernière fait ressortir deux grandes classes bien distinctes de concentration en cuivre. Le détail de ces deux dernières présenté dans le tableau N° 21.

Les valeurs varient en moyennes de 108,14 à 402,15 $\mu\text{g/g}$. Ces teneurs sont fortement élevées par rapport aux valeurs des échantillons témoins (20,30 $\mu\text{g/g}$).

La classe 2 regroupe les zones à fortes pollution avec des concentrations de l'ordre de 345,67 $\mu\text{g/g}$. on enregistre même dans certaines zone notamment le rond-point de Koudia et l'hôpital des pics qui peuvent atteindre 402,14 $\mu\text{g/g}$.

Les faibles concentrations sont regroupées au niveau de la classe 1 avec une moyenne de 160,57 $\mu\text{g/g}$.

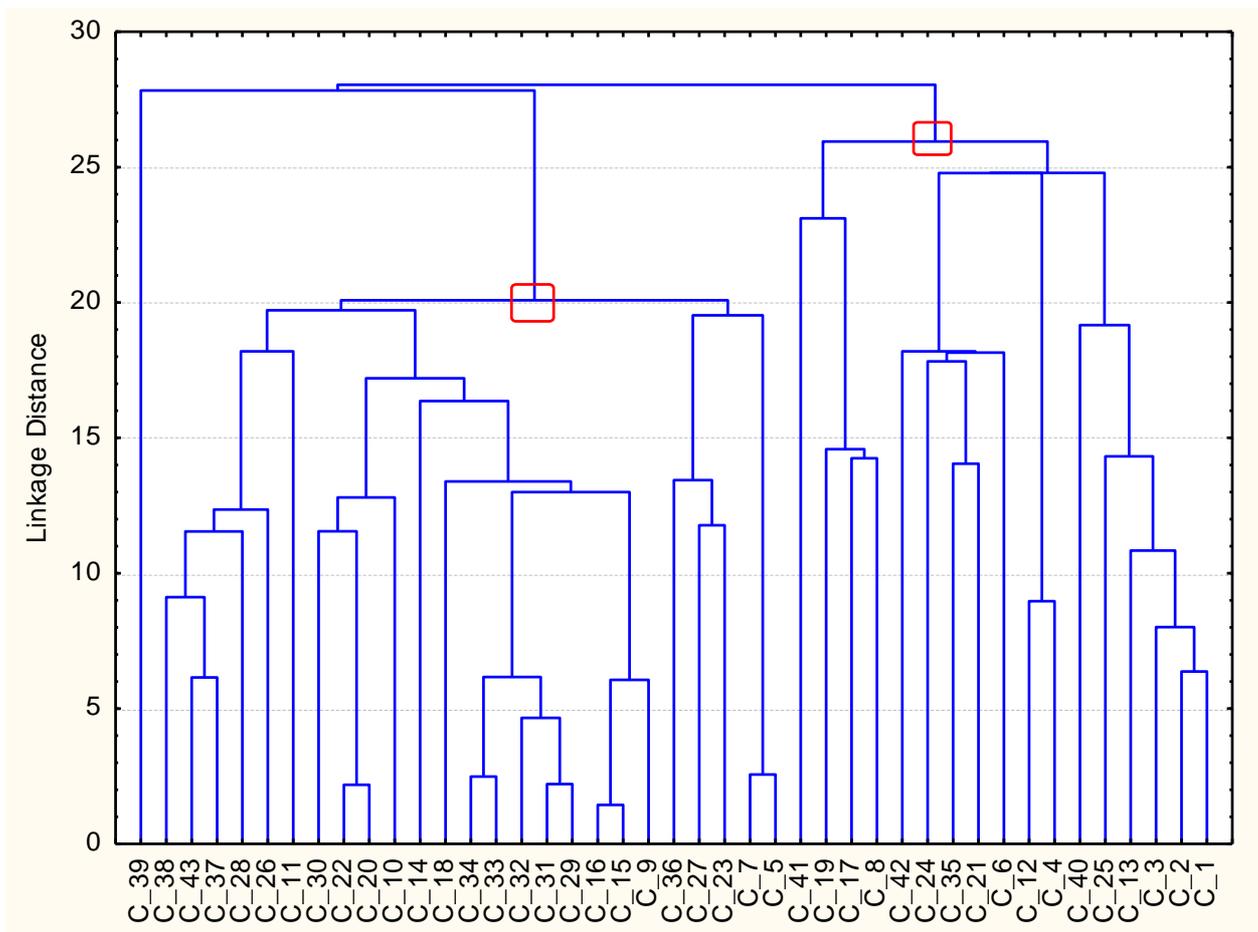


Figure N° 24 : Classes de pollution en cuivre selon la classification automatique des données dans le lichen *Xanthoria parietina*

Tableau N° 20 : Statistique descriptive des classes de pollution en cuivre du lichen *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3eme Quartile	Ecart type
classe 1	25	160,57	108,14	225,48	122,04	190,54	40,54
classe 2	17	345,67	267,86	402,14	321,47	387,96	45,22
Témoins	6	20,03	14,12	29,15	16,24	21,27	5,206

La figure N° 24 illustre clairement la différenciation de ces deux classes. La classe 2 apparait de loin supérieure à la classe 1.

Elle enregistre une moyenne de 345,67 $\mu\text{g/g}$ avec un maximum de 402,15 $\mu\text{g/g}$ et un minimum de 267,86 $\mu\text{g/g}$. pour sa part la classe 1 apparait nettement en bas de la classe 2 avec des concentrations sensiblement inférieures. Elle enregistre un maximum de 225,48 et un minimum de 160,57.

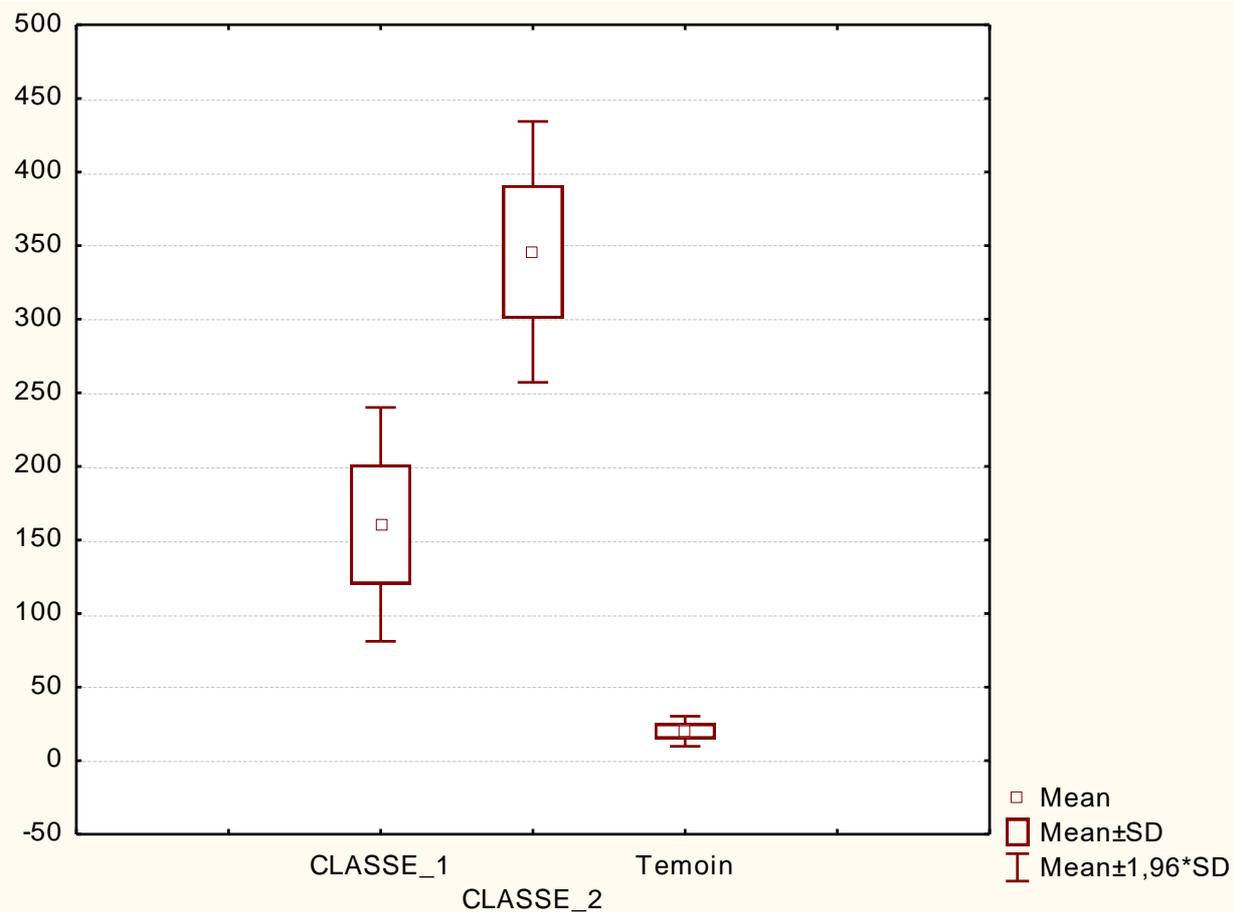


Figure N° 25 : Teneurs en cuivre dans les différentes classes de pollution

3.1.1.2. Le lichen *Parmelia sulcata*

Cas du plomb :

Les résultats obtenus avec l'espèce *Parmelia sulcata* confirment parfaitement les résultats obtenus avec les mousses et le lichen *Xanthoria parietina*.

Les concentrations sont de loin supérieures aux valeurs des échantillons témoins telle que le confirme la figure N° 25.

La classification automatique des 34 échantillons dosés a permis de ressortir 3 groupes de classes bien distinctes.

La classe 3 regroupe toujours les sites les plus pollués qui sont affectés d'un trafic intense (tableau N°22). La moyenne obtenue est de l'ordre de $1165,58 \pm 19,47 \mu\text{g/g}$

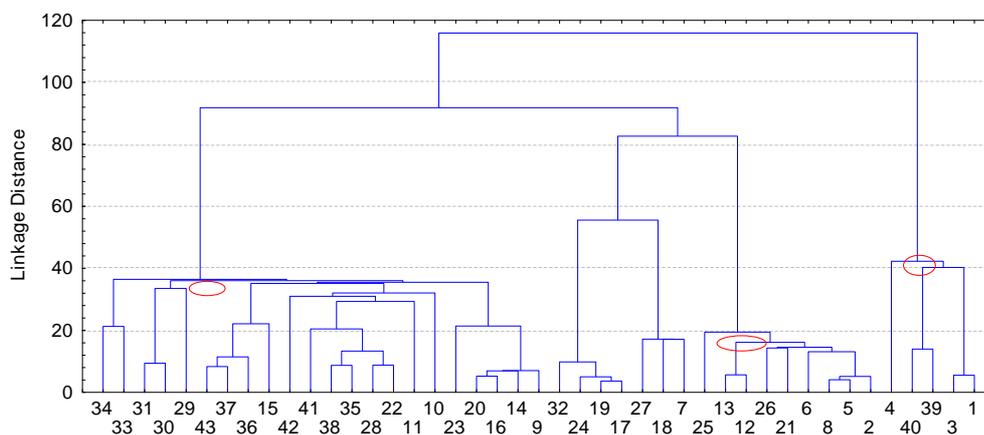


Figure N° 26 : Classes de pollution en plomb selon la classification automatique des données dans le lichen *Parmelia sulcata*

Tableau N° 22 : Statistique descriptive des classes de pollution en plomb du lichen *Parmelia sulcata* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3eme Quartile	Ecart type
Classe 1	22	583,17	591,89	396,86	715,28	532,47	653,01	15.22
Classe 2	9	984,61	982,62	965,34	1017,22	969,53	997,19	13.25
Classe 3	5	1165,58	1167,33	1131,19	1190,58	1153,41	1185,41	19.47
Témoins	3	19,26	18,21	16,14	23,45	16,14	23,45	1.58

La classe 2 réunit les sites où les émissions sont moindres. Elle se caractérise par une moyenne de $984,61 \pm 13,25 \mu\text{g/g}$. Les faibles concentrations sont regroupées au niveau de la classe 1 avec une moyenne de $583,17 \pm 15,22 \mu\text{g/g}$.

Cas du Zinc :

La classification automatique des données montre une variation des concentrations entre $380,45 \mu\text{g/g}$ et $1040,58 \mu\text{g/g}$. elle fait ressortir quatre classes bien distinctes.

La classe 3 concentre les valeurs en zinc les plus élevées avec une moyenne de l'ordre de $962,43 \mu\text{g/g}$ avec toutefois des pics qui peuvent atteindre jusqu'à $1197,96 \mu\text{g/g}$.

Pour leur part, les classes 4 et deux avec 20 échantillons, caractérisent des concentrations relativement inférieures à la classe précédentes, néanmoins elles demeurent encore importantes. Les moyennes varient de $757,21$ à $962,43 \mu\text{g/g}$

La classe 1 quant à elle, regroupe 17 échantillons, avec des concentrations moindres et une moyenne de $526,01 \mu\text{g/g}$. toutefois ces valeurs restent encore très

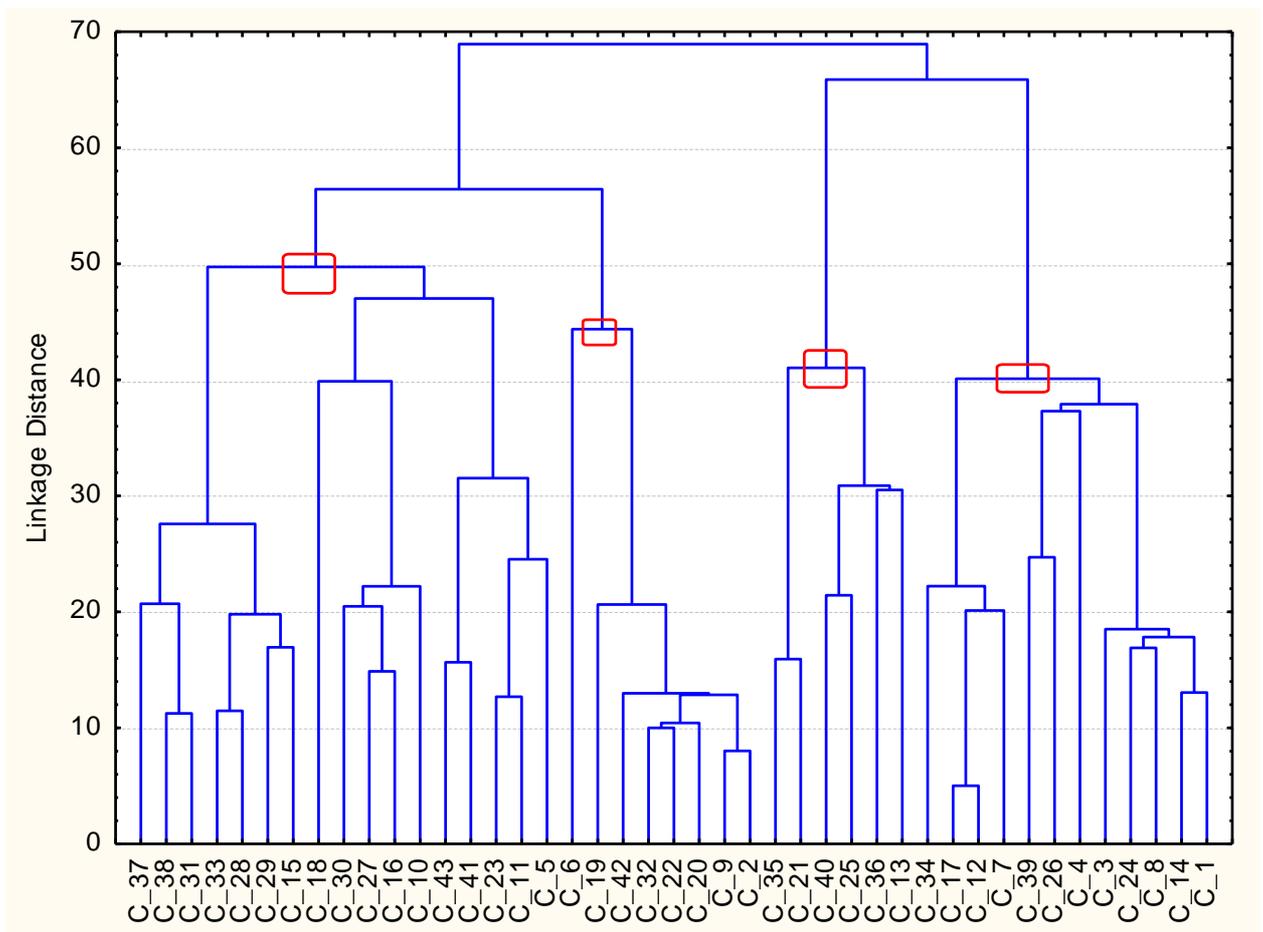


Figure N° 27 : Classes de pollution en zinc selon la classification automatique des données dans le lichen *Parmelia sulcata*

élevées comparativement aux échantillons témoins qui enregistre une moyenne de l'ordre de 53,05 $\mu\text{g/g}$.

Tableau N° 23 : Statistique descriptive des classes de pollution en zinc du lichen *Parmelia sulcata* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3eme Quartile	Ecart type
Classe 1	17	526,01	380,45	674,25	436,96	630,21	102,73
Classe 2	8	757,21	730,12	802,89	750,29	759,71	20,64
Classe 3	6	1149,09	1100,21	1197,96	1120,25	1190,36	38,74
Classe 4	12	962,43	865,89	1040,58	890,39	1020,94	66,01
Témoins	5	53,05	36,14	72,54	48,69	54,23	13,10

Cette classification automatique est parfaitement illustrée par la figure N° 26 qui met en évidence les quatre classes de pollution ainsi que leur différenciation entre elles ainsi que par rapport aux échantillons témoins.

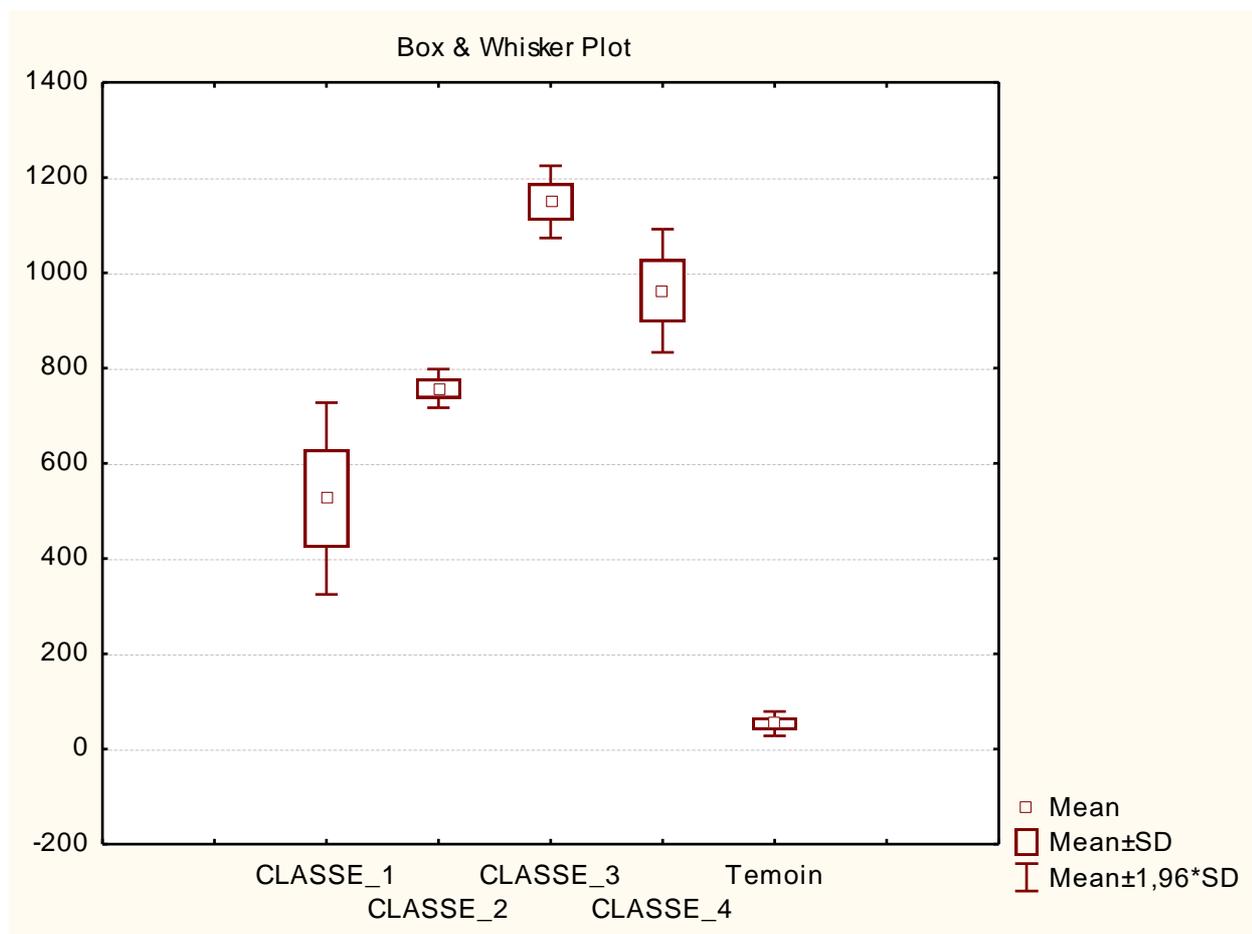


Figure N° 28 : Teneurs en zinc dans les différentes classes de pollution

Cas du cuivre :

Les résultats obtenus avec le dosage du cuivre sont également importants. Les valeurs varient entre 111,08 à 430,12 µg/g.

La classification automatique a permis d'identifier trois classes de pollution.

La classe 3 avec 15 sites est de loin la plus importante. Elle regroupe les concentrations les plus élevées avec une moyenne de 371,12 µg/g. Elle caractérise toujours les zones à fort trafic routier.

La classe 1 avec trois échantillons, regroupe les sites à concentration moyenne avec des valeurs qui varient entre 262,34 à 284,78 µg/g.

La classe 2 avec 25 échantillons regroupent les sites à faible teneur en cuivre, en particulier les zones résidentielles périphériques. La moyenne est de l'ordre de 168,07 µg/g. ces valeurs demeurent néanmoins largement supérieures par rapport aux échantillons témoins qui ont une valeur moyennes de 26,07 µg/g.

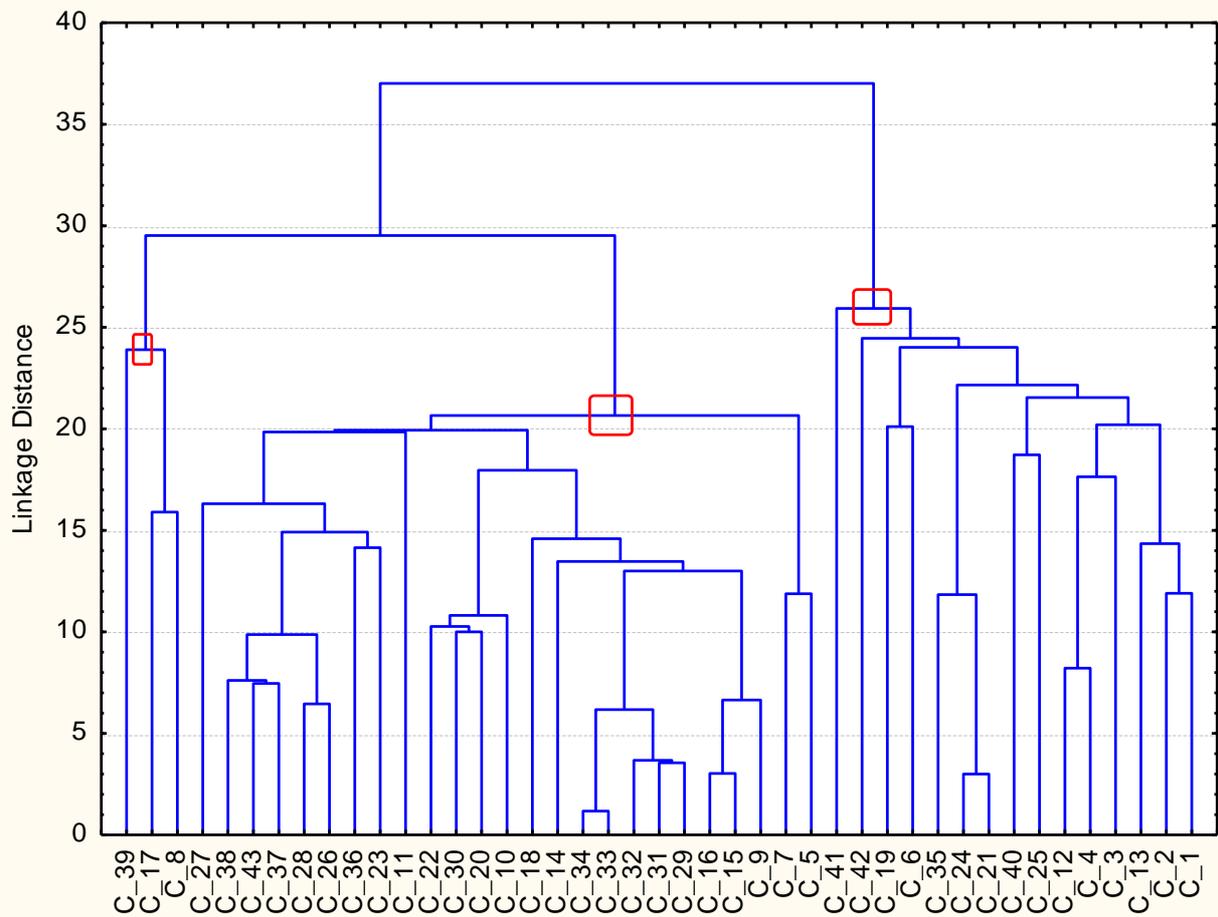


Figure N° 29 : Classes de pollution en cuivre selon la classification automatique des données dans le lichen *Parmelia sulcata*

Tableau N° 24 : Statistique descriptive des classes de pollution en cuivre du lichen *Parmelia sulcata* ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{eme} Quartile	Ecart type
Classe 1	3	272,93	262,34	284,78	262,34	284,78	11,27
Classe 2	25	168,07	111,08	240,54	128,17	201,54	42,58
Classe 3	15	371,12	302,54	430,12	335,47	410,39	39,39
Témoins	6	26,07	16,12	35,17	22,38	28,52	6,38

Cette classification est illustrée par la figure N° 29 qui met en évidence les trois classes avec leurs concentrations respectives.

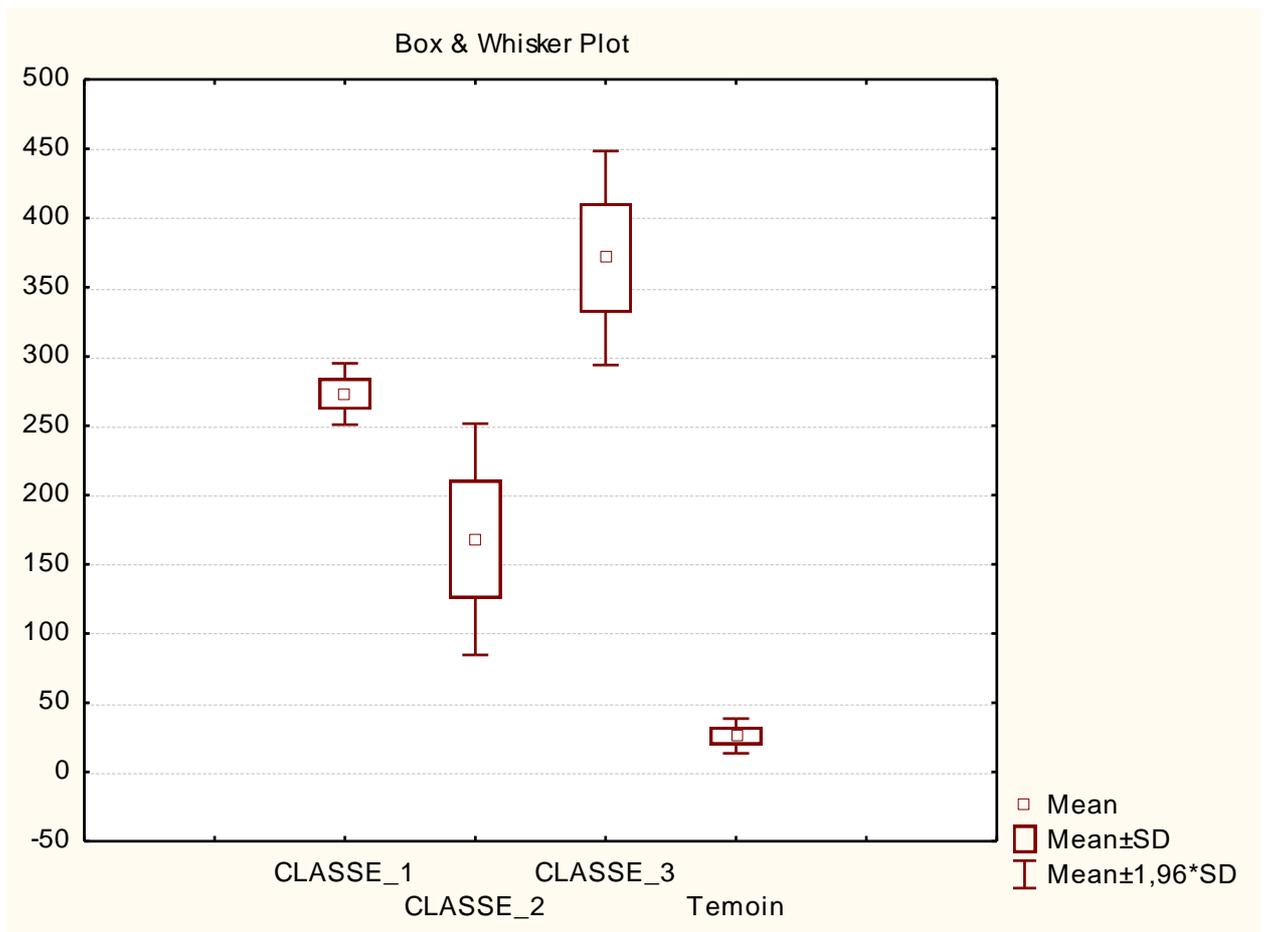


Figure N° 29 : Teneurs en cuivre dans les différentes classes de pollution dans le lichen *Parmelia sulcata*

3.1.2. La mousse *Bryum argenteum*

Cas du Plomb :

Le dosage du plomb a été effectué sur 38 échantillons. On a procédé à regrouper les stations dont les concentrations se rapprochent fortement. Pour ce faire, on a opté pour l'application du test de la classification automatique. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure N°29. A première vue, quatre classes de pollutions sont mises en évidence.

L'examen du tableau N° 24 permet de constater que les teneurs moyennes en plomb varient entre $206,81 \pm 18,26 \mu\text{g/g}$ et $646,50 \pm 16,94 \mu\text{g/g}$. Ces valeurs sont nettement très supérieures aux valeurs des témoins ($15,46 \pm 0,68 \mu\text{g/g}$).

Les fortes concentrations sont enregistrées au niveau de la classe N°4 avec une moyenne de $646 \mu\text{g/g}$ et une valeur extrême de l'ordre de $678,48 \mu\text{g/g}$. Cette classe appelée communément classe chaude regroupe les sites les plus pollués de la ville notamment le centre-ville qui connaît un trafic automobile très intense.

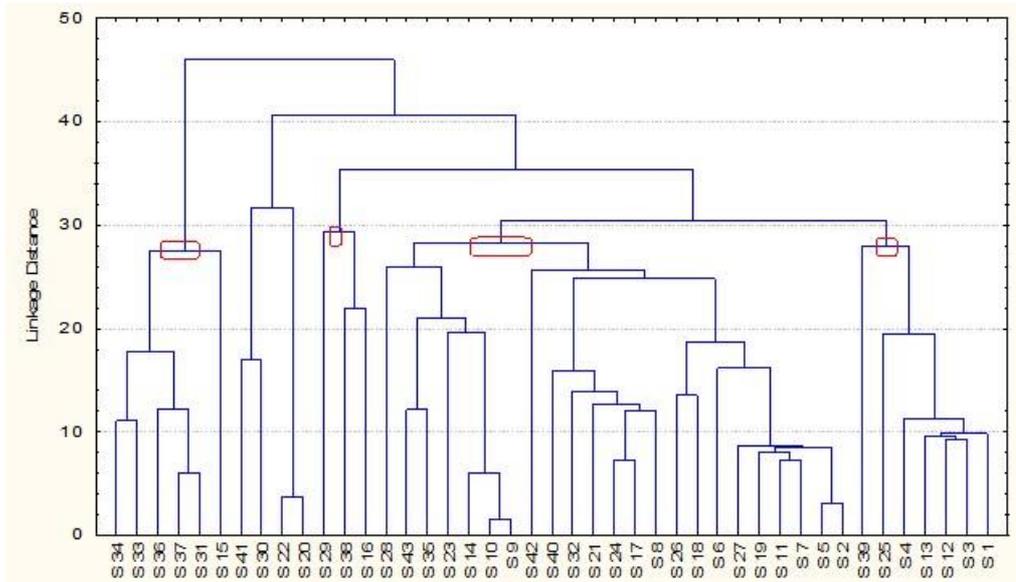


Figure N° 31 : Classes de pollution en plomb selon la classification automatique des données dans la mousse bryum argenteum

Cet état de fait est dû à une forte concentration des équipements générateurs de trafic (commerces et administrations). L'effet de la pente et les remontées de file augmente l'intensité du freinage. A cela, s'ajoutent d'autres lieux tels que l'échangeur de l'autoroute est - ouest et ceux de la mini rocade qui désaffectent le trafic nord - sud et est - ouest.

Tableau N° 25 : Statistique descriptive des classes de pollution en plomb de la mousse Bryum argenteum

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{eme} Quartile	Ecart type
Classe 1	5	206,81	211,15	182,51	223,45	193,57	223,35	18,26
Classe 2	3	388,23	397,24	369,27	398,19	369,27	398,19	16,42
Classe 3	23	521,52	540,51	432,62	601,27	452,94	564,91	28,16
Classe 4	7	646,50	641,21	629,27	678,48	631,54	654,18	16,94
Témoins	3	15,46	15,17	14,98	16,25	14,98	16,25	0,68

Les concentrations moyennes sont observées au niveau des classes 3 avec des valeurs de $521,52 \pm 28,16 \mu\text{g/g}$. Cette classe représente les entités mitoyennes au centre-ville.

Les classes 2 et 1 regroupent quant à elles les concentrations relativement faibles avec des concentrations respectives de $388,23 \pm 16,42 \mu\text{g/g}$ et $206,81 \pm 18,26 \mu\text{g/g}$. Ces deux dernières caractérisent les sites où les émissions sont généralement faibles à moyennes. Ceci est dû :

- d'une part à une circulation moindre comparativement au centre-ville ;

- d'autre part, ces entités périphériques sont plus ou moins ouvertes et connaissent une urbanisation moins dense. De ce fait la circulation des masses d'air favorise la dispersion des polluants.

Les zones de la classe 2 et 1 sont représentées par les zones de Boudjlida, Bouhennak, Koudia, Saf Saf, Chetouane, Abou Tachfine etc.

D'une manière générale, on peut dire que les mousses absorbent directement l'eau et les sels nutritifs ainsi que les polluants présents dans les dépôts atmosphériques. L'absence de système racinaire ainsi qu'une cuticule bien développée minimise l'influence du substrat sur les niveaux de contaminants dans leurs tissus (Rzepka et Cuny, 2008).

L'accumulation se fait principalement par des mécanismes d'échanges cationiques avec une très faible résistance à la diffusion des éléments absorbés.

Les résultats obtenus sont en parfaite adéquation avec des travaux similaires réalisés avec des mousses notamment ceux de Bargagli et al (1998 ; 2002).

Cas du zinc :

Les concentrations en zinc varient entre 499,24 à 1197,45 µg/g.

La classification automatique des données a permis de ressortir quatre classes bien distinctes.

La classe 3 regroupe les concentrations les plus élevées. La moyenne est de l'ordre de 1152, 41 µg/g. toutefois certains sites affichent des concentrations qui peuvent atteindre 1297,45 µg/ particulièrement au niveau de l'hôpital, le centre-ville et le carrefour de Koudia.

Les classes 2 et 1 concentrent les valeurs moyennes avec des moyennes respectives de 794.21, 00 et 716,35 µg/.

La classe 2 pour sa part est caractérisée par des valeurs relativement moindres comparativement aux autres classes. Seulement elles demeurent très élevées par rapports aux échantillons de référence.

Tableau N° 26: Statistique descriptive des classes de pollution en zinc de la mousse Bryum argenteum (µg/g) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{eme} Quartile	Ecart type
Classe 1	13	716,35	499,24	805.56	610,00	670,00	58,00
Classe 2	15	794.21, 00	730,00	921.87	752,00	820,00	47,42
Classe 3	5	1152 41,	940,00	1297,45	998.29	1120,00	81,98
Classe 4	6	430,00	295,00	490,75	301,41	391.28	70,71
Témoins	4	59,75	31,00	65.14	39,50	45,52.12	17,84

Cas du cuivre :

Les concentrations en cuivre varient entre 104,68 et 401,23 $\mu\text{g/g}$. leur classification automatique fait ressortir trois grandes classes en fonction des différentes teneurs.

La classe trois regroupe près d'un tiers des sites à concentrations élevées en cuivre. La moyenne est de 386.53 $\mu\text{g/g}$.

Dans la classe 2, les concentrations varient de 147,18 à 223,87 $\mu\text{g/g}$. Pour sa part, la classe 3 avec 10 échantillons regroupe les concentrations relativement faibles. Elles demeurent toutefois largement supérieures aux valeurs témoins.

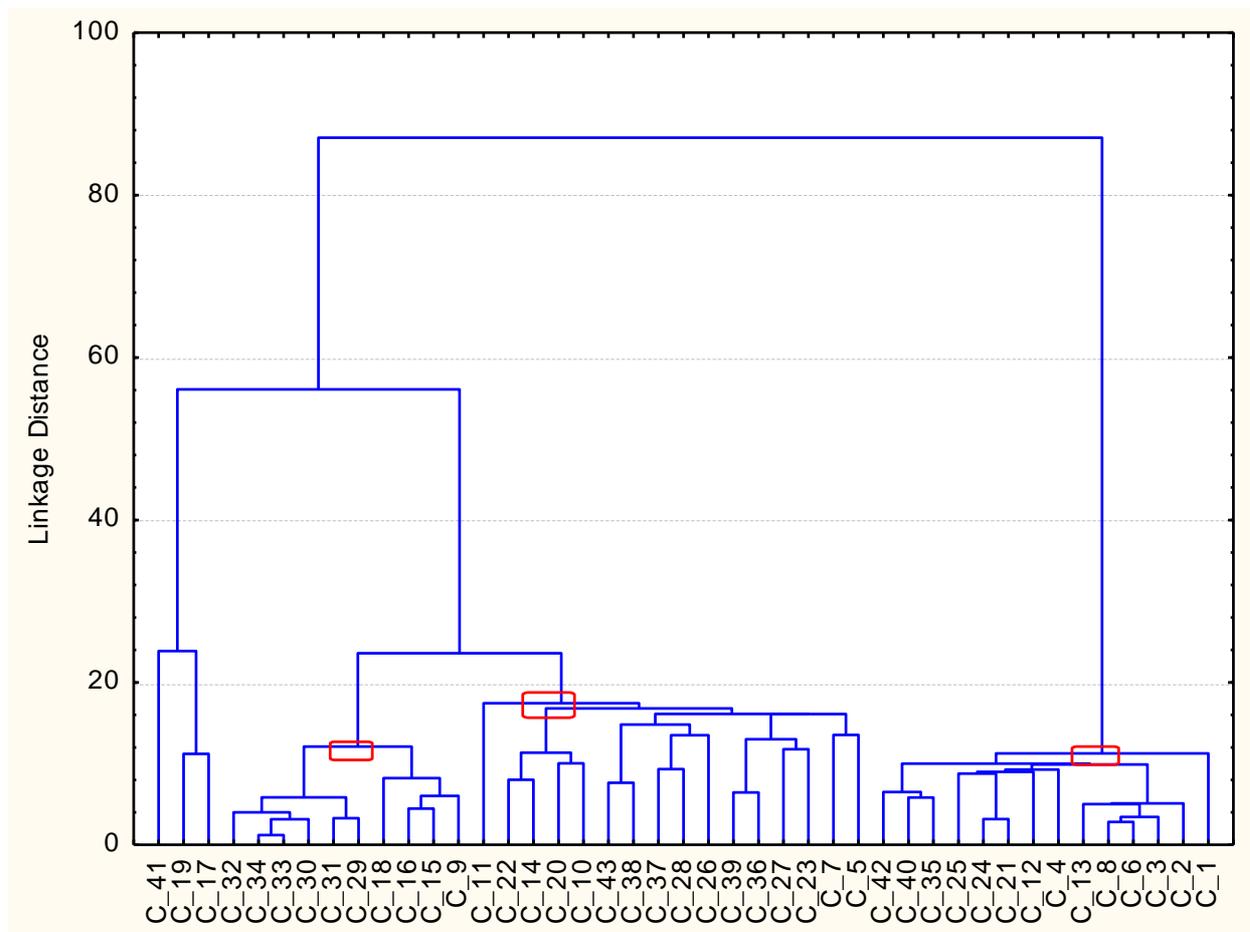


Figure N° 32 : Classes de pollution en cuivre selon la classification automatique des données dans la mousse bryum argenteum

Tableau N° 26 : Statistique descriptive des classes de pollution en cuivre de la mousse Bryum argenteum ($\mu\text{g/g}$) selon la classification automatique

	N	Moyenne	Minimum	Maximum	1 ^{er} Quartile	3 ^{eme} Quartile	Ecart type
Classe 1	10	113,91	104,68	124,23	108,47	119,87	6,41
Classe 2	16	188,86	147,18	223,87	166,73	212,21	27,03
Classe 3	13	386,53	375,45	401,23	380,17	390,47	6,516
Témoins	6	19,87	14,12	28,15	16,24	21,27	4,86

Les différentes classes sont bien illustrées par la figure N° 33 qui laisse apparaitre la différenciation des concentrations en cuivre. La classe 3 apparait nettement détachées des classes 1 et 2 et encore plus des valeurs des échantillons témoins.

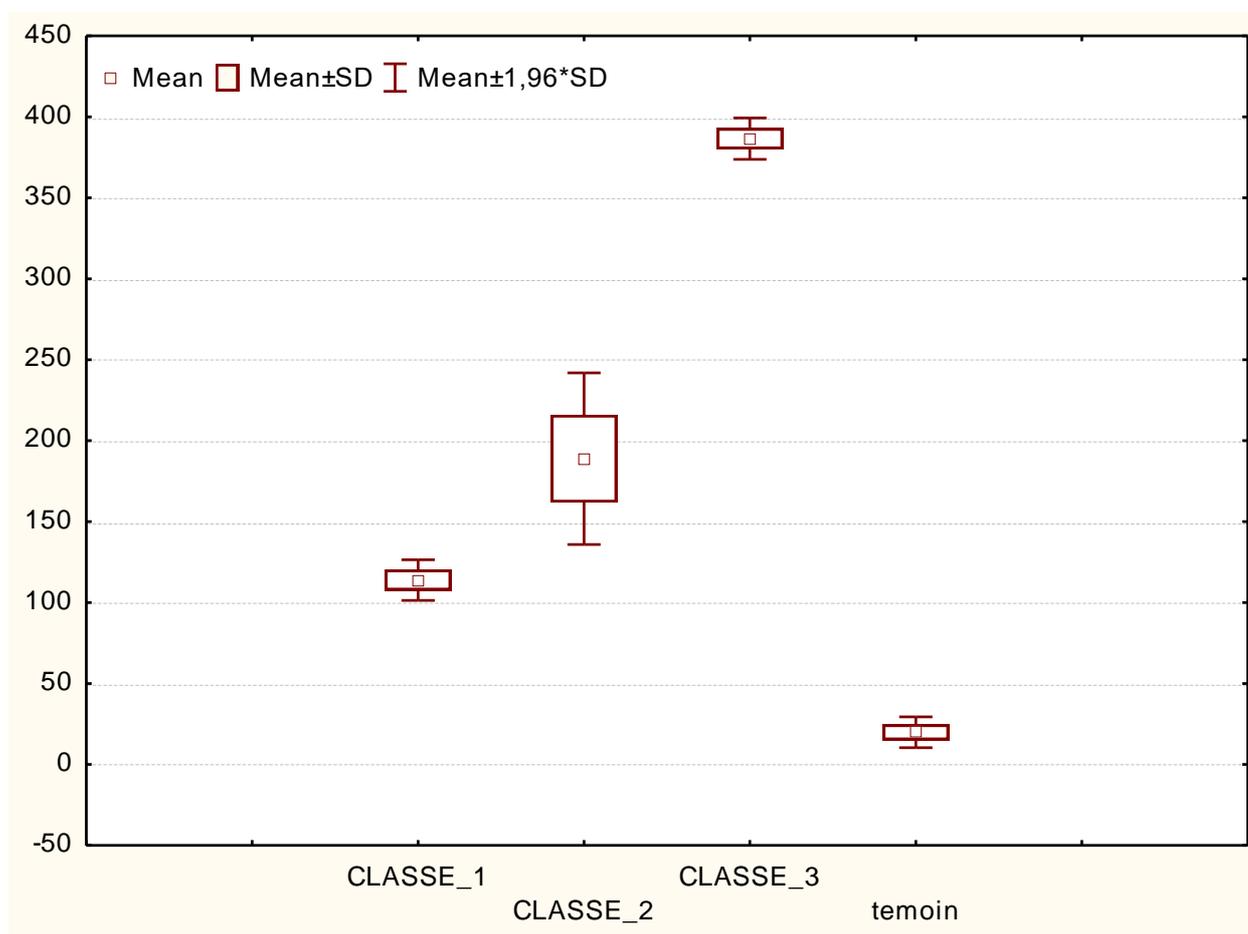


Figure 33 : Teneurs en cuivre dans les différentes classes de pollution dans la mousse Bryum argenteum

Conclusion

D'une manière générale, les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier ont deux principales origines : le parc automobile et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues d'une part, à l'abrasion et à la corrosion des matériaux constitutifs du véhicule et d'autre part, à l'utilisation de différents fluides (carburants, huiles, etc.). De ce fait, ces deux éléments constituent une source importante en métaux lourds dans l'environnement (Delmas, Gadras, 2000).

L'intégration du plomb dans l'entrée du plomb dans la fabrication des différents types de batterie ainsi que dans les carburants ont généré une forte croissance des concentrations atmosphériques de cet élément (Rhue et *al.*, 1992). L'ajout du plomb dans les carburants en particulier l'essence demeure une pratique encore courante dans les pays en voie de développement (Menkes et Fawcett, 1997). Il importe de mentionner que le plomb est le métal ayant connu la plus grande dispersion d'origine anthropique à l'échelle du globe (Rhue et *al.*, 1992).

(Samadi et Deruelle ; 1993) indiquent que la part d'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/l en Algérie. Le plomb atmosphérique généré par le trafic routier, est dû entre autre à la consommation des carburants par les différents types de véhicules. Ce plomb est rejeté dans l'air sous forme d'aérosols avec un taux moyens de l'ordre de 75 % (Deletraz : 2002).

Le zinc est également présent dans les pneumatiques, les lubrifiants et surtout dans les glissières de sécurité (Deletraz, 2002). Les plaquettes de freins constituent également une source non moins importante des émissions en cuivre.

Les végétaux sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons indicateurs ou catalyseurs écologiques pour l'appréciation des différentes formes de pollutions. Ils sont souvent utilisés pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, ainsi que leur manière de collecter les poussières (Ozenda, 1982). De nombreuses études ont mis en évidence la capacité des mousses et des lichens en particulier à capturer et à retenir de nombreux éléments. Effectivement ces dernières ont permis de renseigner l'efficacité de capture des éléments par les thalles de ces végétaux (Rühling et Tyler, 1970 ; Gjengedal et Steinnes, 1990 ; Bargagli et *al.*, 2002 ; Aceto et *al.*, 2003 ; Chakrabrty 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, les mousses et les lichens 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 généralement sur la surface. L'accumulation de ces éléments est facilitée par le grand rapport surface/volume des tissus (Harmens et *al.*, 2011). Rzepka et Cuny (2008) révèlent que le substrat a peu d'influence sur les niveaux de contaminants dans leurs tissus.

En effet, 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 de ce type de végétaux 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).

L'utilisation des mousses et des lichens dans la quantification des éléments traces métalliques émis par les véhicules, a révélé des résultats forts intéressants.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une forte variabilité des teneurs en plomb, zinc et cuivre dans l'ensemble des sites transplantés au niveau de la ville de Tlemcen. Les sites qui ont enregistré des concentrations élevées, connaissent pour la plupart un trafic intense et de nombreux embouteillages notamment durant les heures de pointe. Cette situation génère par conséquent des émissions et une libération plus intense des gaz d'échappement, ce qui entraîne un degré plus élevé de pollution.

La configuration topographique de la ville avec des pentes assez fortes (dépassant parfois les 8 %), conjuguée à une circulation intense, 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). A cela s'ajoute la configuration du réseau routier très étroit notamment au centre-ville qui empêche la dispersion des gaz d'échappement.

Les sites à concentration moyenne en métaux lourds (Pb, Zn et Cu), sont pour la plupart situés dans la périphérie du centre-ville. Ils présentent de ce fait une aération meilleure que les précédents. Ces derniers sont relativement assez ouverts. De ce fait, la dispersion des retombées atmosphériques est moins ressentie. Les gaz sont facilement évacués par le vent. Ces résultats confirment en grande partie les travaux obtenus par Diop et Sagna (2011), ainsi que 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. Ces dernières sont représentées pour la plupart par les zones résidentielles situées en retrait par rapport aux grands axes de circulation.

D'une manière générale, les résultats obtenus, confirmèrent que les mousses et les lichens sont de bioaccumulateurs d'éléments traces métalliques.

Ils sont dans une grande partie cohérents avec d'autres travaux antérieurs notamment ceux de Bargagli et *al* (1995 ; 1998 ; 2002) ainsi que Agnan (2013). Ces deux auteurs ont constaté que ce type d'espèces est généralement tolérant aux polluants atmosphériques et très efficaces pour le piégeage des particules en suspension.

Dans le même ordre d'idée, Vukovic (2015), a démontré une corrélation significative entre les lichens et les mousses et l'intensité du trafic routier. L'enrichissement de ces végétaux par les particules est dû principalement à la pollution liée à la circulation automobile.

Dans d'autres travaux plus récents, Rzepka et Cuny (2008), ont confirmé les résultats précédents avec des espèces de mousses.

3.2. Cartographie de la pollution

Les résultats obtenus ont été utilisés pour l'élaboration d'une série de cartes de pollution en plomb, zinc et cuivre pour chaque espèce. Cette approche permet de mieux appréhender la répartition des différents niveaux de pollution sur le plan spatial et de les comparer avec l'intensité du trafic supporté par chaque site.

3.2.1. Cas du Plomb

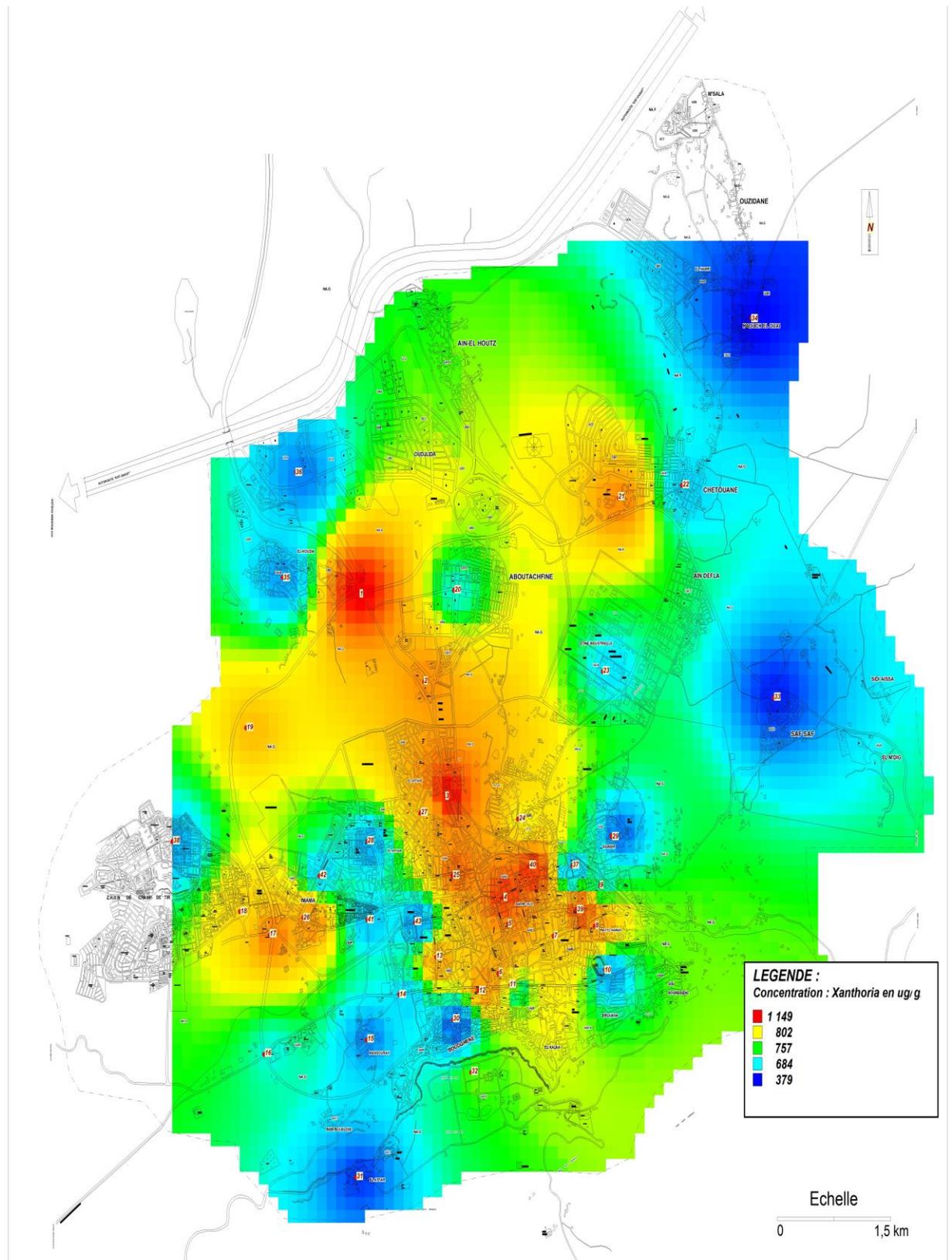
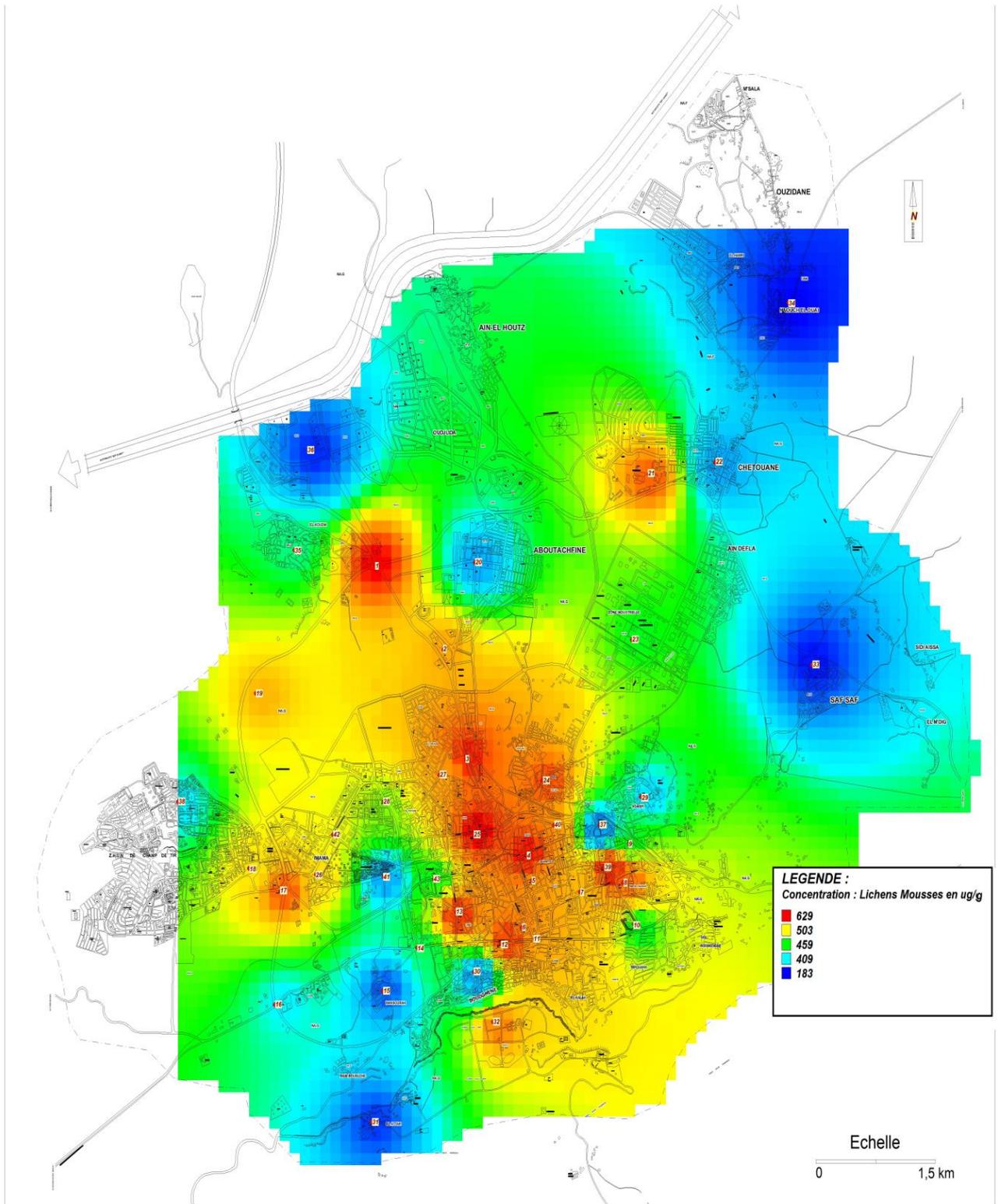


Figure N° 34 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière du lichen *Xanthoria parietina*

Figure N° 35 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière du lichen *Parmelia sulcata*



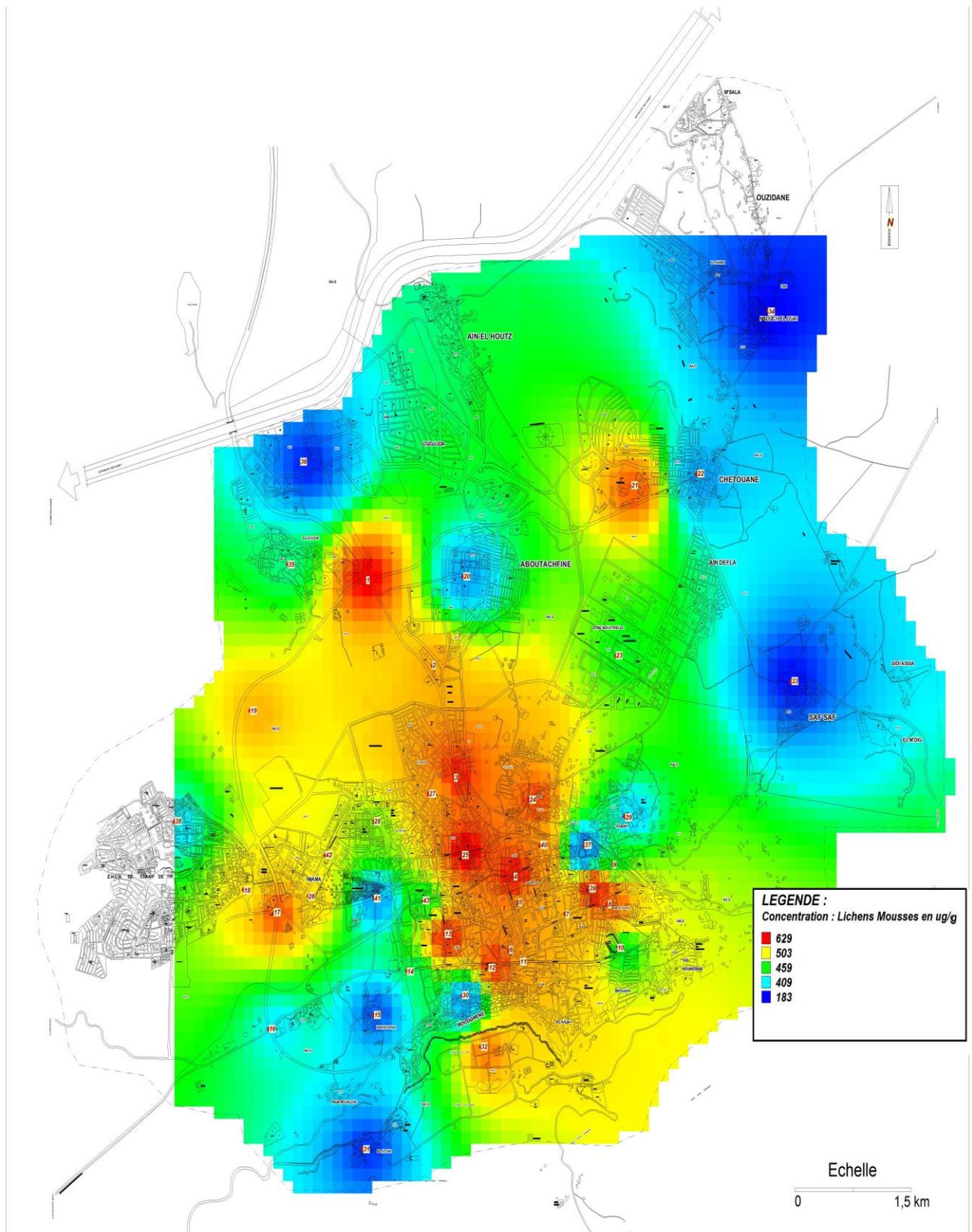


Figure N°36 : Carte de pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière de l'espèce de mousse *Bryum argenteum*

La lecture des trois cartes permet de mettre en évidence la dominance de la couleur rouge au niveau du centre-ville et la zone nord qui structure la totalité du trafic est - ouest et nord – sud (figure N° 5). Les concentrations en plomb sont très fortes et dépassent largement les 1000 µg/g. Ces zones devront faire l'objet d'une attention particulière par la création éventuelle d'espaces piétons. La configuration spatiale du centre-ville avec la prédominance de la médina (ancienne ville précoloniale) avec des voies très étroites laissent très peu de chance aux gaz d'échappement de se disperser dans l'atmosphère. D'un autre côté la zone nord doit être soulagée par le report d'une partie du trafic vers d'autres pénétrantes ou la réalisation de nouvelles infrastructures routières pour bien organiser et canaliser le trafic de transit et faciliter par conséquent, l'accès au centre-ville.

La couleur jaune affecte plus de 30 % de la superficie urbanisée. Elle manifeste une tendance pessimiste quant à l'évolution du niveau de pollution par le plomb. Elle est représentée par les zones attenantes au centre-ville et les nouvelles concentrations d'habitat. Les valeurs oscillent entre 800 et 1000 µg/g. Ces zones sont représentées par les quartiers des oliviers, Sidi Said, Kiffane, Imama qui permettent un accès direct et rapide au centre-ville.

La couleur verte caractérise les zones est et ouest de l'agglomération de Tlemcen. Les concentrations varient entre 700 et 800 µg/g. Elles sont représentées par les entités de Chetouane, Agadir, Bouhennak, Hai El Waai, Boudjlida et Ouzidane.

La couleur bleu ciel concerne les zones situées au sud, à l'ouest et à l'est de la ville. Les concentrations varient entre 500 et 700 µg/g. Il s'agit notamment des quartiers de :

- Boudghene et Birouana (sud de la ville), quartiers résidentiels sur les hauteurs de la ville connaissant très peu de trafic ;
- Agadir et Sidi Boumediene, quartiers résidentiels avec un accès relativement difficile ;
- Imama et Kiffane ouest, quartiers résidentiels par excellence. De plus la prédominance d'un type d'habitat peu dense (individuel et semi collectif) ainsi que des voies très larges facilitent la dispersion rapide des polluants.

La dernière classe représentée par la couleur bleu se caractérise par une pollution relativement faible. Elle concerne les entités qui connaissent une faible urbanisation. De plus, elles sont situées en retrait par rapport aux grandes voies de communication. On citera à titre d'exemple le quartier de Saf Saf.

3.2.2. Cas du zinc

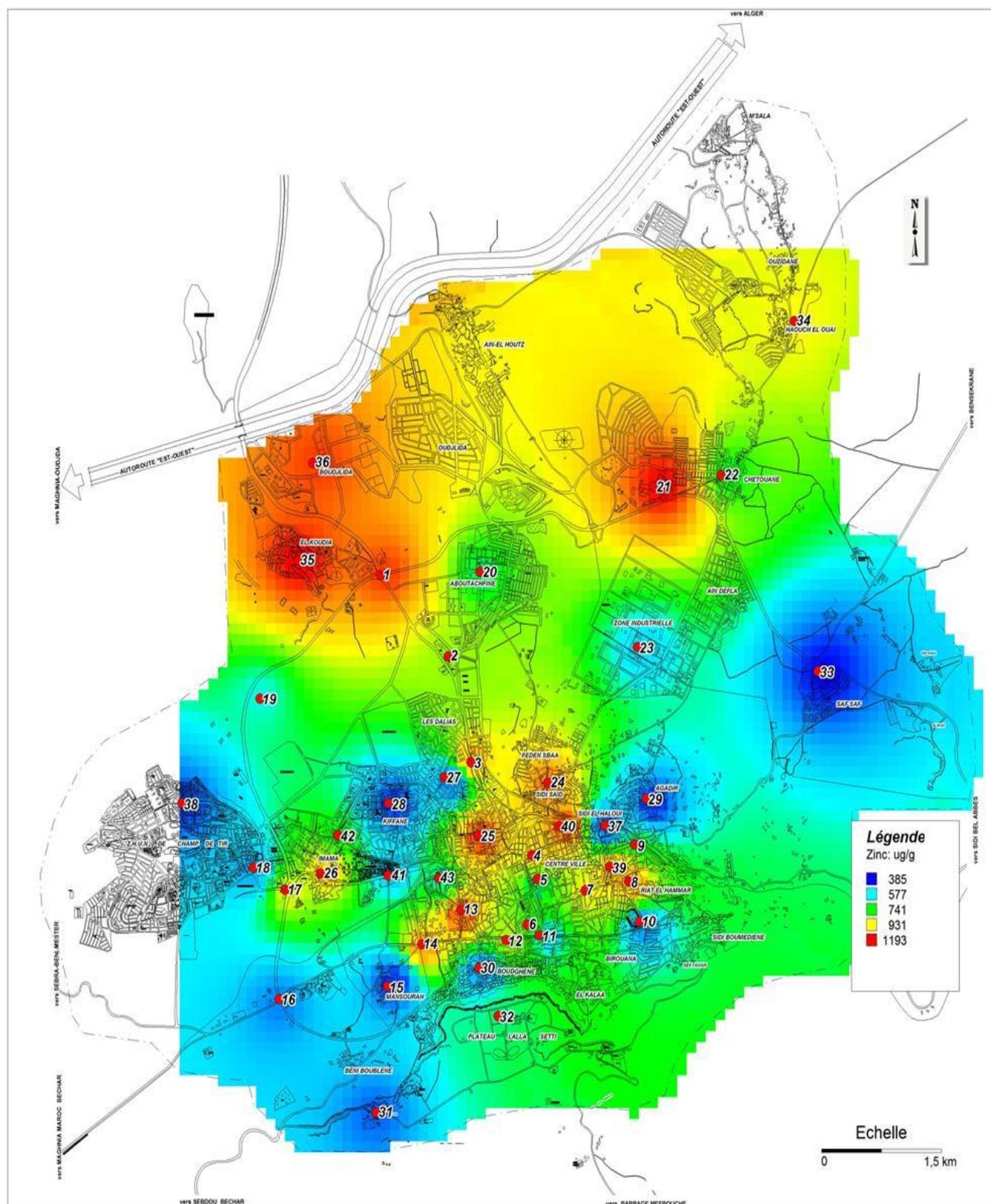


Figure N° 37 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière du lichen *Xanthoria parietina*

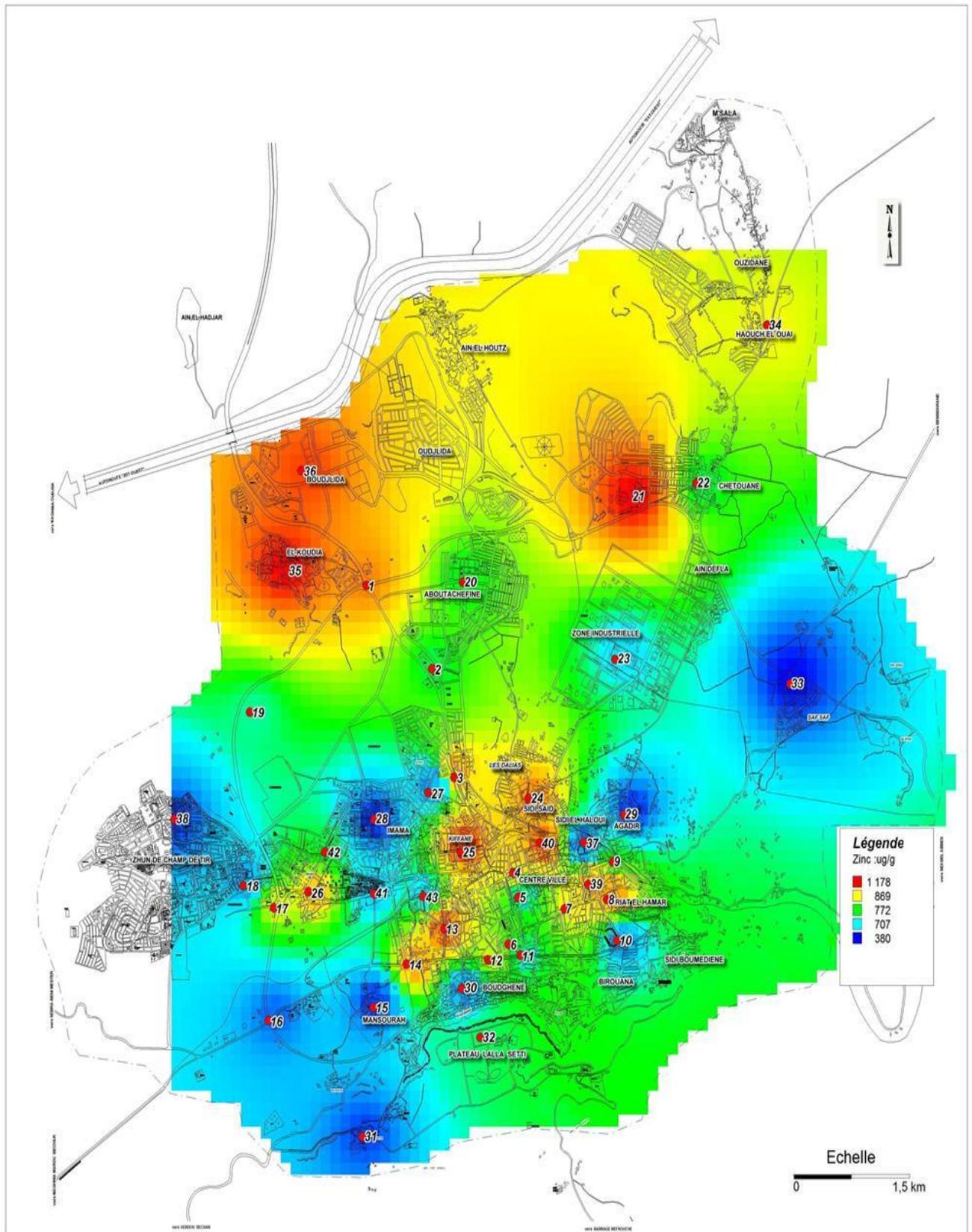


Figure N° 38 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière du lichen *Parmelia sulcata*

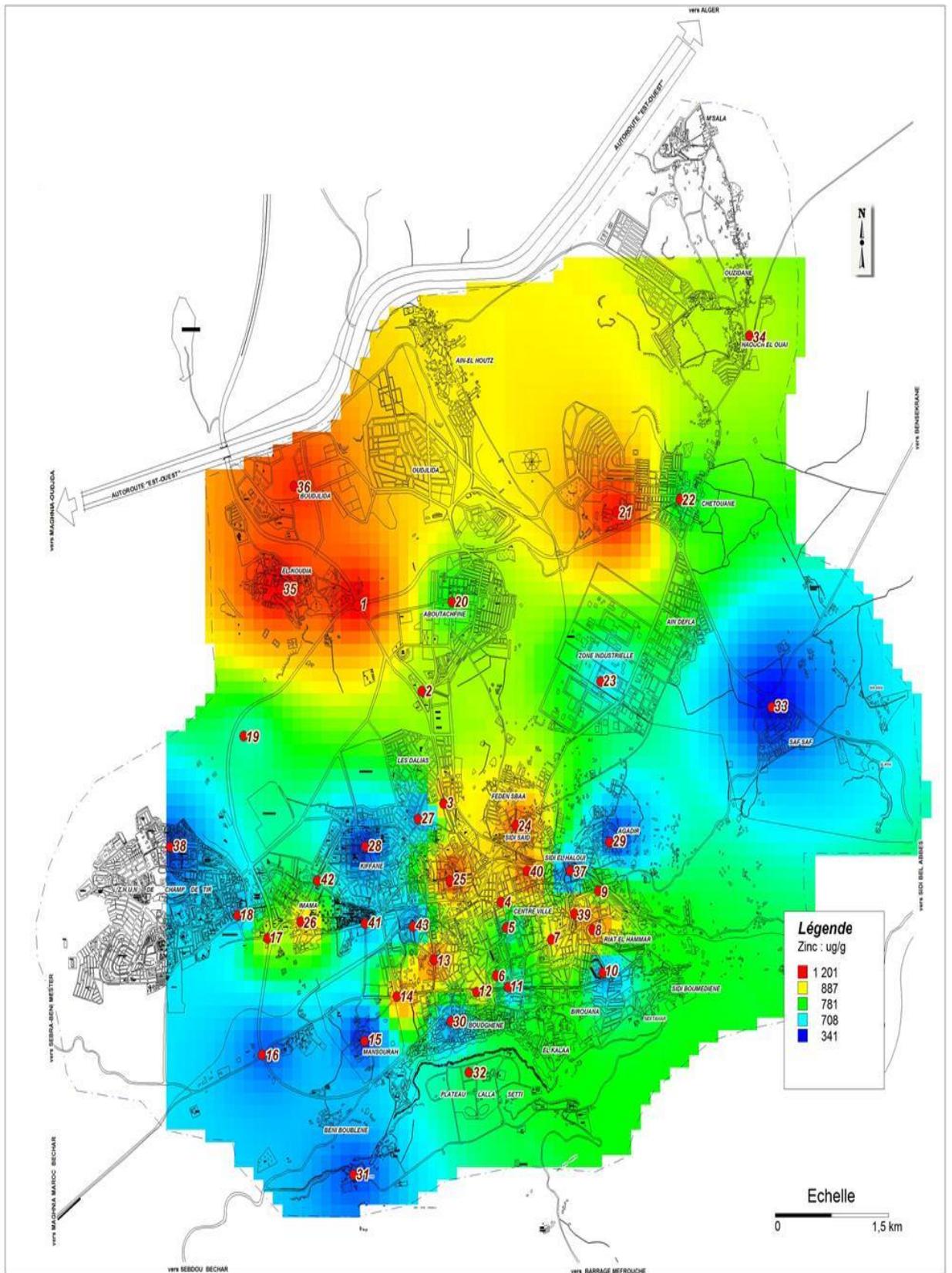


Figure N° 39 : Carte de pollution atmosphérique par le zinc d'origine routière de l'espèce de mousse *Bryum argenteum*

Les cartes de pollution de pollution du zinc sont illustrées par les figures N° 37, 38 et 39. La lecture des cartes fait ressortir une forte pollution au niveau du centre-ville et sa périphérie immédiate. A cela s'ajoute le rondpoint de Kouidia et l'échangeur de l'autoroute d'Ain El Hadjar qui canalisent tout le trafic venant à Tlemcen de l'ensemble des directions Nord (Oran, Ain Temouchent), de l'est (Sidi Bel Abbès, Alger, Oran, Relizane etc.) et de l'ouest (Maghnia). Cette zone est marquée par un trafic intense générant des remontées de files considérables à longueur de journée.

La région du centre-ville concerne la zone de l'hôpital, la cité administrative (siège Wilaya, APC, tribunal) ainsi que les principales artères (Allées des pins, Bab Ouahran, Kaisaria, boulevard Hamsali, et le boulevard Lotfi).

Les concentrations dans ces entités les 1000 µg/g. certaines zone enregistrent même des pics avec de valeurs extrêmes qui peuvent dépasser les 1200 µg/g notamment au niveau dans zones nord.

Les zones très sensibles à forte concentration en zinc sont représentées par la couleur rouge.

La couleur jaune pour sa part représentent les zones situées dans la périphérie immédiate du centre-ville et toujours les entités urbaines nord. Les concentrations en zinc varient entre 800 à 900 µg/g.

La couleur verte avec des concentrations moyennes de 700 à 800 µg/g. Elle regroupe essentiellement les zones nord et sud de l'agglomération de Tlemcen.

Enfin la couleur bleu avec des valeurs inférieures à 600 µg/g, concernent les zones est et ouest. Ces entités sont situées pour la plupart dans les zones reculées par rapport au centre-ville. Il s'agit principalement des zones résidentielles qui connaissent un faibles trafic.

Il importe de mentionner toutefois que ces à faible pollution en zinc sont appelés dans un proche avenir à supporter une bonne partie des besoins en espace urbanisable de la ville. Le plan d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Tlemcen prévoit l'extension de la ville vers ces deux sens.

Enfin il importe de signaler que les valeurs des concentrations en plomb sont nettement supérieures comparativement à d'autres villes qui ont fait l'objet d'études similaires. Ce taux excessif pourrait éventuellement provenir de l'unité Alzinc de Ghazaouet. Dans ce contexte , une étude devrait être lancé le long du tronçons Tlemcen Ghazaouet pour confirmer cette hypothèse.

3.2.3. Cas du cuivre

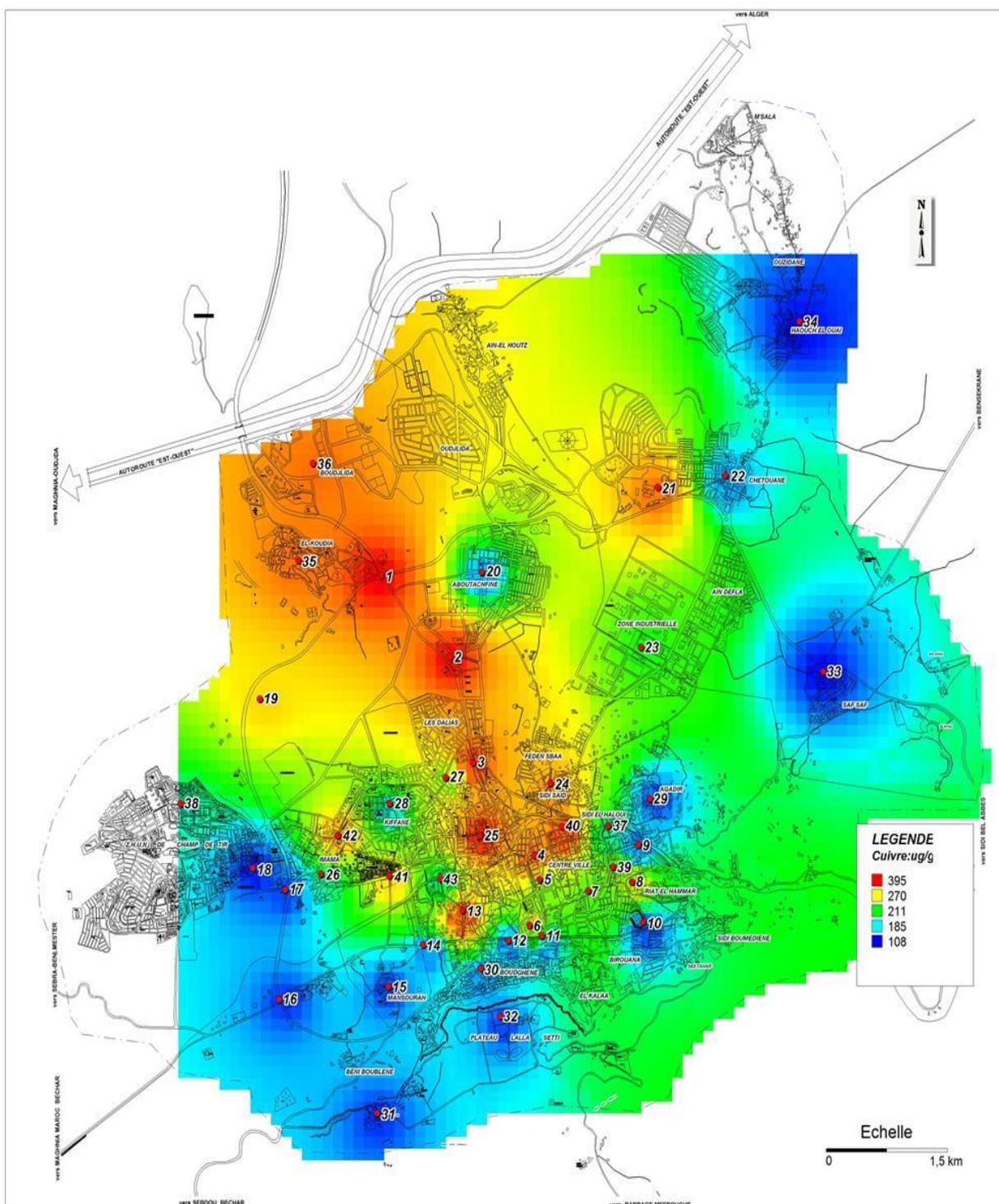


Figure N°40 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière du lichen *Xanthoria parietina*

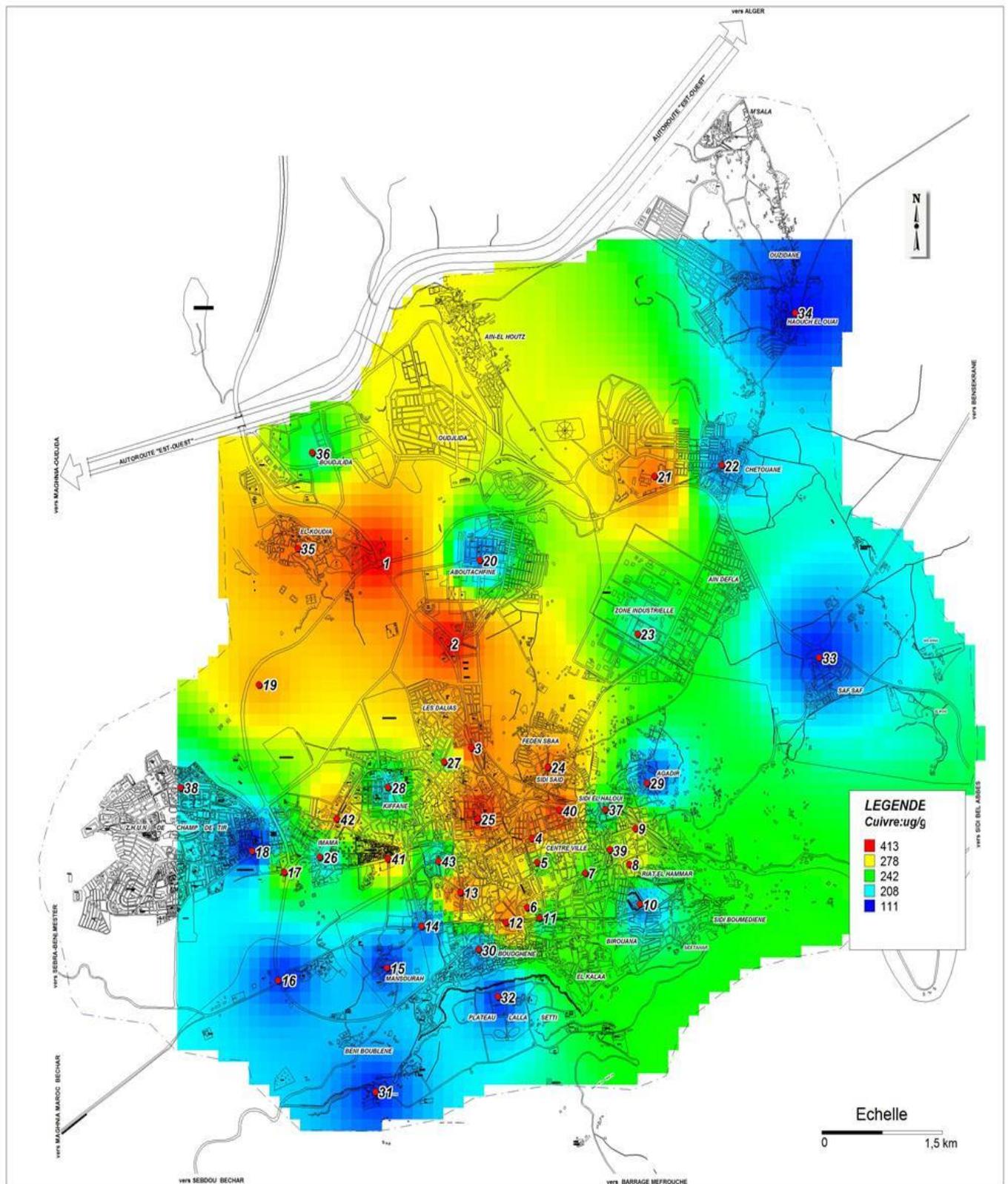


Figure N° 41 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière du lichen *Parmelia sulcata*

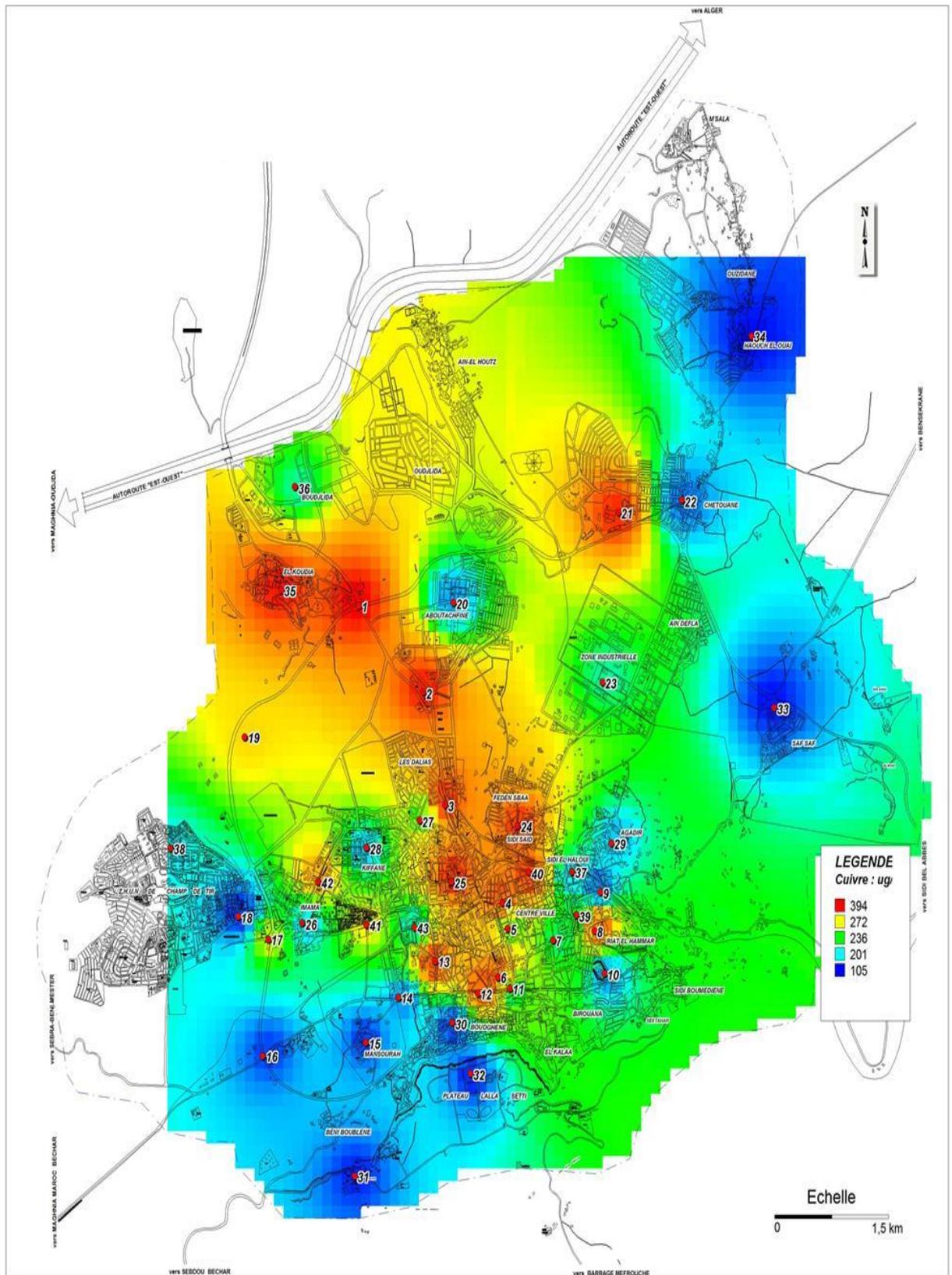


Figure N° 42 : Carte de pollution atmosphérique par le cuivre d'origine routière de l'espèce de mousse *Bryum argenteum*

Les cartes de pollution générée par le cuivre sont illustrées par les figures N° 40, 41 et 42.

Les fortes concentrations sont toujours concernent toujours le centre-ville et sa périphérie immédiates ainsi que les zones nord de Koudia et l'échangeur de l'autoroute est ouest. Les concentrations moyennes varient entre 300 et 350 $\mu\text{g/g}$.

Cette concentration représente la classe chaude très sensible. Elle est illustrée par la couleur rouge.

La couleur jaune dévoile les sites à pollution moyenne à forte. Ils sont localisés pour la plupart au nord de l'agglomération en raison de l'intensité du trafic dans ce sens. Les concentrations enregistrées oscillent entre 250 à 300 $\mu\text{g/g}$. ces zones sont appelées à connaître davantage de pollution étant donné qu'une bonne partie des programmes d'urbanisation sont projetées dans ce sens. Ces zones sont actuellement ouvertes à la circulation de l'air ce qui permet par conséquent une bonne dispersion des polluants.

La couleur verte concerne l'ensemble de la partie sud de l'agglomération ainsi qu'une partie des entités est et ouest. La pollution est dans l'ensemble moyenne avec des concentrations qui oscillent entre 200 et 250 $\mu\text{g/g}$. ces sites sont pour la plus part représentées par des zones résidentielles connaissant une faible intensité du trafic.

Enfin la couleur bleu matérialise les sites à faible intensité de pollution. Les valeurs moyennes varient de 100 à 200 $\mu\text{g/g}$.

Ils sont pour la plupart situées dans les zones reculées à l'est et à l'ouest. Ce sont pour la plupart des sites peu urbanisées. Ces entités concernent des sites ouverts exposés aux vents dominants permettant une bonne la circulation de l'air et par conséquent une meilleure dispersion des polluants.

D'une manière générale, l'agglomération de Tlemcen est située dans un site fortement accidenté avec des pentes relativement importantes dépassant 10 % par endroit. Cette situation génère une situation d'étouffement particulièrement au niveau du centre-ville et plus particulièrement la vieille ville (médiina).

Le manque d'aération ne permet pas le renouvellement d'air et donc l'évacuation des polluants. De plus, la concentration des principaux équipements et services dans cette zone entraîne un trafic automobile intense avec des embouteillages et des remontées de files continues à longueur de journée. De ce fait on assiste à une libération plus intense des gaz d'échappement, et par conséquent, un degré très élevé de pollution.

Les résultats ainsi obtenus confirment dans une large proportion les résultats de travaux similaires menés respectivement dans les villes d'Annaba et Tiaret (Maatoug, 2010), Omar (2015) et Maizi (2013).

3.5. Effet de la pollution générée par les éléments traces métalliques

La pollution atmosphérique caractérise une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air. Cette dégradation est causée par un ou plusieurs éléments (particules, substances, matières etc.) dont les degrés de concentration et la durée de présence sont suffisant pour produire un effet toxique et/ou écotoxique.

Les statistiques de l'organisation mondiale de la santé (OMS) indiquent qu'un décès sur 8 est dû à la qualité de l'air. Elle souligne dans ce sens, que la réduction de la pollution permettrait « *de sauver des millions de vies dans le monde* »

En raison de l'absence d'intenses activités industrielles, on pourrait affirmer que les principales sources de pollution atmosphérique au niveau des villes algériennes, sont directement liées au trafic automobile. Cette situation s'intensifie d'année en année avec l'accroissement du parc automobile. En effet le réseau routier actuel n'arrive plus à contenir un parc de plus en plus croissant. A cela s'ajoute l'usage de carburants souvent non conformes aux normes admises et homologuées. Ce constat est confirmé par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Il précise dans un rapport publié en 2010 , que le secteur des transports est le premier responsable des émissions des polluants atmosphériques avec 51%. Le secteur industriel ne vient qu'en seconde position avec une part de 47,25 %.

Les différents polluants libérés dans l'atmosphère ont des effets directs et indirects notamment sur la santé humaine et plus particulièrement les maladies respiratoires qui sont en constantes évolution.

3.6. Effet des éléments traces métallique sur la santé humaine

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'assimilation. (Krupnick et *al.*, 1990 ; Abbey et *al.*, 1995 ; Burnett et *al.*, 1999 ; Stieb et *al.*, 2000 ; Maherou et *al.*, 2013).

Pour sa part, le zinc peut également générer des problèmes pour la santé humaine. Un excès de zinc peut entraîner une perte de l'appétit, une diminution des sensations du goût et d'odeur. Par contre les carences en zinc peuvent provoquer des problèmes à la naissance ainsi que des problèmes digestifs et pulmonaires (Maherou et *al.*, 2013).

L'excès du cuivre peut également entraîner des irritations des muqueuses respiratoires et oculaires, des congestions des muqueuses nasales et du pharynx, ainsi que des ulcérations voire des perforations du septum nasal. (Maherou et *al.*, 2013).

Conclusion générale

Les problèmes de pollution font de nos jours l'objet de nombreux programmes de surveillance, d'études et de recherches, compte tenu des risques qu'ils présentent pour l'environnement en général et la santé humaine en particulier.

A partir des années 1990 l'Algérie a connu de profondes mutations sur le plan socioéconomique avec l'accès à la politique de l'économie de marché. Cette situation s'est traduite par des programmes massifs d'importation de véhicules.

De ce fait, il est grand temps de faire un bilan et d'évaluer les risques potentiels liés à la pollution générée par ce parc. La plupart de nos villes subissent une pollution visible et de plus en plus croissante. Les véhicules rejettent leur gaz de combustion, sans aucun contrôle et rendent l'atmosphère des villes irrespirable.

Cette pollution s'intensifie avec l'expansion démographique et l'extension urbaine qui créent une pression de plus en plus forte en matière de ressources, d'énergie, de transport, de sol et de production de déchets. Plusieurs études à caractère national ou international conduites par les différents organismes ont été menées en Algérie pour diagnostiquer cette pollution, sans que des actions pratiques soient prises sur le terrain pour l'enrayer ou la réduire (Tabet-aoul, 2008).

La présente étude s'inscrit dans cette problématique. Elle a pour objectif la cartographie et l'estimation des niveaux de pollution par le plomb, le zinc et le cuivre d'origine routière à l'aide d'une espèce de mousse *bryum argenteum* et deux espèces de lichens, *Xanthoria parietina* et *Parmelia sulcata*, transplantées dans divers sites de la ville de Tlemcen.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence la présence d'une réelle pollution qui affecte le centre-ville et sa périphérie immédiate ainsi que la zone nord qui draine un trafic automobile très intense.

Les valeurs moyennes en plomb oscillent entre 800 et 1100 $\mu\text{g/g}$. Les zones périphériques sont également affectées par la pollution, mais avec des valeurs relativement moindres comparativement à celles du centre-ville. 600 à 800 $\mu\text{g/g}$. Ceci confirme l'affinité élevée des lichens et des mousses d'accumuler les polluants atmosphériques, avec une légère prédominance pour les mousses.

Les concentrations en zinc sont relativement très importantes avec des valeurs variant entre 400 et 1200 $\mu\text{g/g}$. Les zones les plus touchées sont le centre-ville et les zones nord. Les valeurs obtenues sont très élevées par rapport aux échantillons témoins. Ces concentrations sont souvent dues à un congestionnement du trafic automobile et une mauvaise circulation de l'air. Cette situation est d'autant plus accentuée par la configuration étroite du réseau de voirie ainsi que la topographie fortement accidentée de la ville de Tlemcen.

Pour ce qui est du cuivre, les valeurs moyennes varient entre 120 et 420 $\mu\text{g/g}$. Les zones les plus touchées demeurent le centres villes et sa partie périphérique. Les zones est et ouest sont pour le moment épargnées. Néanmoins il importe de signaler que ces zones sont appelées dans un proche avenir de concentrer les nouveaux programmes d'habitat de la ville de Tlemcen. De ce fait, elles devraient être prises en charge dès à présent pour éviter un scénario catastrophique dans un proche avenir.

L'approche cartographique a permis de spatialiser les niveaux de pollution et les variations des concentrations en plomb dans les différents quartiers de la ville de Tlemcen.

D'une manière générale les lichens et les mousses utilisées dans le cadre de cette étude se sont révélés de très bons indicateurs de pollution avec une légère préférence des mousses par rapport aux lichens. Cet état de fait est probablement dû à la surface de contact qui était plus ou moins importante que celle des lichens. La morphologie des mousses comme celle des lichens autorise l'accumulation de haute concentration de plomb durant l'année (Puckett, 1988).

L'architecture des mousses et des lichens 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).

Pour sa part Agnan (2013) constatait qu'il n'y a pas de différence d'accumulation entre les mousses et les lichens. La différence réside essentiellement au niveau de la surface foliaire des espèces.

Les résultats obtenus sont en parfaite adéquation avec d'autres travaux similaires réalisées dans d'autres villes en Algérie Maatoug (2010) et Omar (2015) au niveau de la ville de Tiaret, notamment la ville de Tiaret, Allioua (2011) dans la ville de Skikda et Maizi (2013) dans la ville de Annaba.

Perspectives :

La présente étude constitue une première initiative pour la quantification et la cartographie de la pollution en plomb, zinc et cuivre au niveau du groupement urbain de Tlemcen. Elle a permis de donner une idée préliminaire sur les sources et les origines de pollution au niveau de cette entité urbaine. Cette étude mérite d'être affinée davantage en vue de maîtriser les différents problèmes de pollution qui affecte l'ensemble de nos villes.

Dans ce contexte nous avons jugé utile de faire quelques suggestions et recommandations pour pallier à ce grave problème de pollution atmosphérique en l'occurrence :

- La réalisation d'une carte régionale de pollution. elle concernera les villes d'Oran, Tlemcen, Sidi Bel Abbes, Mostaganem, Ain Temouchent, Mascara et Relizane ;
- Réalisation d'une étude le long du tronçon Tlemcen – Ghazaouet pour identifier l'origine des concentrations très élevées en Zinc ;
- La maîtrise du parc automobile et son adéquation avec la capacité du réseau de voirie ;
- L'encouragement de l'usage de carburants moins polluants tels que l'essence sans plomb et le gaz de pétrole liquéfié (GPL) ;
- Etendre les espaces verts dans chaque agglomération et veiller à leur entretien régulier ;
- Surveiller la qualité de l'essence et des huiles vendues utilisées dans le pays ;
- Organiser le trafic routier pour une meilleure fluidité de la circulation afin d'éviter les embouteillages qui sont les responsables du dégagement des gaz toxiques ;
- Encouragement de l'usage des transports collectifs pour réduire l'intensité du trafic ;
- Veillez au bon fonctionnement d'une façon continue des stations de surveillance de la qualité de l'air ainsi que leur emplacement.
- Prévoir et promouvoir des campagnes de sensibilisation en faisant intervenir le mouvement associatif (ASPEWIT).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- **ACETO, M., ABOLLINO, O., CONCRA, R., MALANDRINO, M; MENTASTI, E., SARZANINI, C. 2003.** The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Chemosphere* 333–342.
- **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.
- **AIRPARIF, 2010.** Les différents polluants et leur évolution. Association de surveillance de la qualité de l'air
- **AH-PENG, C.. 2007.** Diversité, distribution et biogéographie des bryophytes des coulées de laves du Piton de la Fournaise (La Réunion). *Ecology, environment. Université de la Réunion*, 338p : Annexes.
- **ALCARAZ, C., 1982-** La végétation de l'Ouest algérien .Thèse d'état. Univ. Pepignan, 415p : annexes et cartes.
- **AMIROUCHE, .N., BOUGUEDOURA, N., Hadj-ARAB, H., 2010.** Botanique les embryophytes. Office des publications universitaires (OPU). 104p.
- **ANTHONY, U., 2003.** 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», 115 p.
- **AREHN, 2004.** Lichens et biosurveillance de la qualité de l'air, 41 p.
- **ARMSTRONG, A., BRADWELL, T., 2011.** Growth of foliose lichens: a review. *Symbiosis* 53: 1-16.
- **ARNAL, G., BOCK, C., BOURNERIAS, D., 2002.** Guide des groupements végétaux de la région parisienne. Bassin parisien - Nord de la France (Écologie et Phytogéographie)
- **ASAKAWA, Y., LUDWICZUK A., NAGASHIMA, F., 2013.** Phytochemical and biological studies of bryophytes. *Phytochemistry*, 91 p.
- **ASTA, J., ERHARDT ? W., FERRETI, M., FORNASIER , F., KIRSCHBAUM, U., NIMIS, P. L., PURVIS, O., PIRINTSOS S., SCHEIDEGUER, C., VAN HALUWYN, C., 2002.** European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress. British Lichen Society.

- **BARGAGLI, R., 1993.** Plant leaves and lichens as biomonitors of natural or anthropogenic emissions of mercury. *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment* (B. A. Markert, éd): p. 461- 484. VCH, Weinheim, New York.

- **BARGAGLI, R., IOSCO, F. P., DAMATO, M. L., 1987.** Zonation of trace-metal accumulation in 3 species of epiphytic lichens belonging to the genus *Parmelia*. *Cryptogamie Bryologie Lichenologie* 8 : 331-337.

- **BARGAGLI, R., MONACI, F., BORGHINI, F., BRAVI F., AGNOLLI C. 2002.** 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 : 279-287.

- **BARGAGLI, R., NIMIS, P. L., 2002.** Guidelines for the use of epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements. *Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens Earth and environmental sciences.* (P. L. Nimis, C. Scheidegger & P. A. Wolseley, éd): p. 295-299. Kluwer/NATO Science Series, Dordrecht. Barnes et al., 1976.

- **BERGAMASCHI, L., RIZZIO, E., GIAVERI, G., LOPPI, S., GALLORINI, M., 2007.** Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site, *Environmental Pollution*, 148: 468-476.

- **BEDENEAU, N., 1980.** Evolution des caractères morphologiques, anatomiques et biochimiques de quelques lichens subsistants en milieu forestier pollué. Thèse univ. Orléans, 120 p.

- **BERLIZOV, A.N., BLUM, O.B., FILBY R.H., MAIYUK I.A., TRYSHYNN 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., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie*, T. 17(4): 1-309.

- **BRICAUD, O., ROUX, C., BULTMANN, H. 2009.** Syntaxonomie des associations de lichens folicoles de la France méridionale. *Bull. Soc. linn. Provence*.

- **BRAWN, D. H., BATES J. W. 1990.** Bryophytes and nutrient cycling. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 104: 129-147.
- **BROWN, D. H., BRUMELIS, G., 1996.** A biomonitoring method using the cellular distribution of metals in moss. *The Science of the Total Environment*. 187(2): 153-161.
- **CATINON, M., 2010.** Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. Université Joseph Fourier - Grenoble I 206 p.
- **CATINON, M., AYRAULT S., BOUDOUMA ,O., ASTA J., TISSUT, M., RAYAVANEL, P. 2012.** Atmospheric element deposit on tree barks: the opposite effects of rain and transpiration. *Ecological Indicators* 14 : 170-177.
- **Chakraborty, S., Paratkar, G.T., 2006.** Biomonitoring of Trace Element Air Pollution Using Mosses. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol. 6, N°3 : 247-258.
- **CHOVIN, P ., ROUSSEL, D. A., 1968.** La Pollution atmosphérique : par Paul Chovin et André Roussel, Presses universitaires de France.
- **COSTE, J., 2008.** Enquête à long terme de la pollution des métaux lourds, la contamination de biofilm et de la structure des communautés de diatomées dans le bassin versant Riou Mort, Sud-Ouest de la France. *De pollution de l'environnement*, 151 (3), 532-542
- **CRUTZEN , PJ., 1998.** Atmospheric Aerosols: Biogeochemical Sources and Role in Atmospheric Chemistry. *Science* 16May 1997: Vol. 276, Issue 5315, pp. 1052-1058.
- **DAMBRINE. P., ULRICH, E., CENAC, N., DURAND, P., GAUQUELIN, T., MIRABEL, P., NYS , C., PROBST, A., RANGER, J., ZEPHORIS, M., 1995.** Atmospheric deposition in France and possible relation with forest decline. *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains* (G. Landmann, M. Bonneau & M. Kaennel, éd) : p. 177-200. Springer, Berlin Heidelberg.
- **DEGOBERT, G., 1992.** Automobile et pollution . Edition TECHNIP – Paris , 192 P.
- **DELETRAZ, G., PAUL E. 1998.** 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., 2000.** Pollution automobile et écosystèmes dans les vallées de transit pyrénéennes", Actes de la Journée de rencontres sur l'environnement, Pau, VAL-UPPA, p. 38.
- **DELETRAZ, G., 2002.** 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. 564 p : Annexes.
- **DELFOU, X, CAMERON, AC, BRAMS, J. 2006.** Science 03 Feb 2006: Vol. 311, Issue 5761, pp. 633-635.
- **DELMAS, C., 2000.** Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse de doctorat de l'université de Pau et des Pays de l'Adour (France). 191 p : Annexes.
- **DERUELLE, S., 1978.** Les lichens et la pollution atmosphérique. *Bull. Ecol.* 9, 2: 87-128 .
- **DERUELLE, S., 1981.** 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 : 91-112.
- **DERUELLE, S., 1983.** Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique et relation avec les facteurs climatiques. Thèse Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 360p.
- **DERUELLE, S., 1984.** L'utilisation des lichens pour la détection et l'estimation de la pollution par le plomb. *Bull. Eco.* 15, 1-6
- **DERUELLE, S., 1996.** La fiabilité des lichens comme bio indicateurs de la pollution plombique. *Ecologie*, 27: 285-290.
- **DERUELLE, S., ET GUILLOUX, F. 1993.** Evolution de la végétation lichénique en région parisienne entre 1981 et 1991, en relation avec la qualité de l'air. *Bull. Inform. Ass.Lichénol.*, Mémoire 2, 23-42.
- **DERUELLE, S., ET LALLEMANT, R., 1995.** Les lichens témoins de la pollution. *Thèmes Vuibert Université Biologie*, 108p.

- **DESBOEUF, 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,
- **DERACHE, R., 1986.** Toxicologie et sécurité des aliments. Paris, APRIA, pp : 159 – 198.
- **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). Université Paul Verlaine – Metz. France.
- **DOUIN, I., 1986.** Nouvelle flore des Mousses et des Hépatiques. Ed. BELIN.
- **DPAT, 2015.,** Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, monographie de la wilaya de Tlemcen. 96 P.
- **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
- **ELICHEGARAY, C., 1980.** Contribution à l'étude du comportement chimique de l'aérosol urbain. Thèse de 3^o cycle, Université Paris VII.
- **Frahm, J., 2001.** Biologie der Moose. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, . 357 P .
- **FERNAN, J.A., EDERA, A., NUNEZ, E., MARTINEZ-ABAIGAR, J., INFANTE, M., HERAS, P., ELIAS, M.J., MAZIMPAKA, V., CARBALLIERRA, A., 2002.** Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis, *The Science of the Total Environment*, 300, p. 115-127.
- **GALLIPURGHARAI, B., 1990.** Surveillance des métaux lourds au moyen de l'analyse des mousses. *Rev. N°140*, 129-134. 332p.Garnier.

- **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.

- **GARNIER, R., 2005.** Toxicité du plomb et de ses dérivés. EMC - Toxicologie Pathologie, 67–88.

- **GARREC, J.-P., VAN HALUWYN, C. 2002.** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air : concepts, méthodes et applications. Tec & Doc. 117 p.

- **GARTY, J., 2001.** Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. Critical Reviews in plant Sciences 20, 309-371.

- **GOMBERT, S., 1999.** Utilisation de la bio indication lichénique dans l'estimation de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise : étude à différents niveaux d'organisation biologique. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier - Grenoble I, 287p.

- **GORHAM, E., 1957.** The chemical composition of lake waters in Halifax County, Nova Scotia. American Society of Limnology and Oceanography 2: 12-21.

- **GOYAL, R., SEAWARD, M., 1982.** Metal uptake in terricolous lichens. Effects on the morphology of *Peltigra canina* and *Peltigra rufescens*. New phytol., 90: 73-84.

- **GRATANI, L., CRESCENTE, M.F., VARONE, L., 2008.** Long-term monitoring of metal pollution by urban trees, Atmospheric Environment, 42, p. 8273-8277. Gausla 2003. Is parietin a UV-B or a blue-light screening pigment in the lichen *Xanthoria parietina* Photochemical and Photobiological Sciences, 2, 424-432.

- **HAWKSWORTH, D.L., ROSE, F., 1970.** Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using apiphytic lichens. Nature 227, 145-148.

- **HAWKSWORTH, D.L., 1988.** The variety of fungal-algal symbioses, their evolutionary significance, and the nature of lichens. Bot. J. Lin. Soc. 96, 3-20.

- **HAWKSWORTH, D. L., 1994.** The recent evolution of lichenology: a science for our times. Cryptogamic Botany, 4: 117 - 129.

- **HONEGGER, L., 1998.** Experimental studies of growth and regenerative capacity in the foliose lichen *Xanthoria parietina*. New Phytologist, 133 (4), 573–581.

- **HOENNER, V., 2006.** 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., 2006.** Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ ver de terre/microflore tellurique. Ocean, Atmosphere. Thèse doctorat, Université Paris-Est, 145 + Annexes.
- **JAHNS, H., DELACHAUX, M., NESTLÉ . 2011.** R ; Guide des fougères, mousses et lichens d'Europe.
- **JORDA, S., 2004.** Le monde vivant. Les mousses, classification. 5p.
- **KROMMER, V., ZECHEMEISTER, H.G., RODER, I., SCHARF, S., HANUS-ILLNAR, A., 2007.** Monitoring atmospheric pollutants in the biosphere reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements, *Chemosphere*, 67. 1956-1966.
- **LACAZE, J. C., 1993.** La dégradation de l'environnement côtier conséquences écologiques. Ed. Masson (Paris), 83p.
- **LAGADIC, L., CAQUET, T., AMIARD, J-C. et RAMADE, F., 1997.** Biomarqueurs en Ecotoxicologie. Aspects fondamentaux, Paris.
- **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.
- **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.
- **LEBLOND, S., BOUCHER, A., 2011.** Initiation à la bryologie : voyage au cœur de la vie secrète des mousses. 43p.
- **LEE, K., DOHUR, S., HOU, S., HONG, S., QIN, X., REN, J., LIU, Y., Rosman, K. J. R., BARBANTE, C., BOUTRON, C. F. 2008.** Atmospheric pollution for trace elements in the remote high-altitude atmosphere in central Asia as recorded in snow from Mt. Qomolangma (Everest) of the Himalayas. *Science of the Total Environment* 404: 171-181.
- **LEGRAND, I., 1991.** Végétation lichénique corticole et caractéristiques physico-chimiques des écorces: relation avec la symptomatologie du dépérissement des forêts dans les Alpes du Nord. Thèse doctorat, université de Grenoble I, 202 p.

- **LINDBLOM, L., 2006.** Genetic variation and population differentiation in the lichen-forming ascomycete *Xanthoria parietina* on the island Storfosna, central Norway. *Molecular Ecology*, 15 (6), 1545–1559
- **LODENIUS, M., 1981.** Regional distribution of mercury in *Hypogymnia physodes* in Finland. *Ambio* 10, 183-184. Loppi et al., 1997a.
- **LOPPI, S. ET BONINI, I., 2000.** Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in areas with thermal springs and fumarole activity (Mt. Amiata, central Italy). *Chemosphere* 41, 1333- 1336.
- **LOPPI, S., NELLI, L., ANCORA, S. ET BARGAGLI, R., 1997.** Accumulation of trace elements in the peripheral and central parts of a foliose lichen thallus. *Biologist* 100, 251-3.
- **LOPPI, S., PIRINTSOS, S.A., 2003.** Epiphytic lichens as essentials for heavy metal pollution at forest ecosystems (Central Italy). *Environ. Pollu.* 121, 327-332. Lötschert et Köhm, 1978.
- **MAATOUG, M., HELLAL, B., DELLAL, A., AYAD, N., BOURBAATACH, M. 2007.** 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.
- **MAATOUG, M., MEDKOUR, K., AIT HAMMOU, M., AYAD, N. 2010.** Cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière à l'aide de la transplantation d'un lichen bioaccumulateur *xanthoria pariatina* dans la ville de Tiaret (Algérie). *Pollution atmosphérique - Janvier-Mars N°205* : 93-101.
- **MAATOUG, M., AIT HAMMOU, M., SARMOUM, M., 2011.** 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., TAIBI, K., AKERMI, A., ACHIR, M., and MESTARI, M. 2012.** 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. : 223-244.
- **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.

- **MAIZI , A., 2012.** Caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bioindicateurs végétaux : un lichen *Ramalina farinacea* , une mousse *Funaria hygrometrica* et quelques espèces phanérogames dans la région de Annaba (Algérie). thèse doctorat, 158 p.

- **MARKERT, B., 1993.** Plants as biomonitors. Indicators of heavy metal in the terrestrial environment. VHC. Weinheim, New york, Basel, Cambridge, 644p. Maser et al., 1985.

- **MEENKS, J.L.D., TUBA, Z., 1992.** Bryophytes. Biological indicators in environmental protection. Budapest : Akadémiai Kiadó, 65-75.

- **MEIER, F.A., 2002.** Faecal pellets of lichenivorous mites contain viable cells of the lichen-forming ascomycete *Xanthoria parietina* and its green algal photobiont, *Trebouxia arboricola*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 76 (2), 259-268.

- **MOUVET, C., 1986.** Dosage 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.

- **NARDIN, D., 2000.** L'embranchement des bryophytes ou "mousses". Caractéristiques, classification, cycle de vie, 5p. Nash, 2008b.

- **NIEBOER, E., ET RICHARDSON, D.H.S., 1981.** Lichens as monitors of atmospheric deposition. MI: Ann Arbor, Michigan, 1981, 339-88.

- **NIEBOER, E., RICHARDSON , D.H.S., LAUDIE, P. AND PADOVAN, D., 1979 .** The role of metal ion binding in modifying the toxic effect of sulphur dioxide on the lichen *Umbilicaria muklenbergii*, I. Potassium efflux studies *New. Phytol.* 82 : 621 – 632 p.

- **OMAR, A., 2015.** 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. Thèse doctorat, 167 p.

- **ONIANWA, P. C., 2001.** Monitoring atmospheric metal pollution: A review of the use of mosses as indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 71(1): 13-50.

- **OMS , Organisation Mondiale de la Santé . 2014.** Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé. Aide-mémoire N°313
- **OZENDA , P., 1954** - Observation sur la végétation d'une région semi-aride : les hauts plateaux du sud algérois. Bull. Soc. Nat. Afr. Nord. 4. 385p.
- **PACYNA, J. M., Pcyne, E. G. 2001.** An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. Environmental Reviews 9: 269-298.
- **Pedro, G., 2007.** Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux. EDP Sciences. 484 p.
- **P.R.Q.A, 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.
- **RYAN KEN, G., et al. (2009).** Historical ozone concentrations and flavonoid levels in herbarium specimens of the Antarctic moss *Bryum argenteum*, périodique Global change biology, volume 15, p. 1694-1702,
- **ROUL, D., 1998.** Etude des conditions météorologiques de Biriadou : 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.
- **ROSMAN, K., CHISHOLM, W., BOUTRON, C., CANDELONE, J., PATTERSON, C., 1994** Anthropogenic lead isotopes in Antarctica. Geophysical Research Letters 21: 2669-2672.

- **ROMINGER, M. ., OLDEMAYER, J. L., 1989.** Early winter habitat of woodland caribou, Selkirk Mountains, British Columbia. *Journal of Wildlife Management*, 53:238-243.

- **ROUSSEL, I., & MENERAULT, P., 2001.** L'ozone des villes et l'ozone des champs. Ou les relations ambiguës entre pollution atmosphérique et périurbanisation/Ozone levels in the towns and countryside. Or the ambiguous relations between atmospheric pollution and periurbanisation. *Géocarrefour*, 76 (4), 327-338.

- **RUHLING, A., 1994.** Atmospheric heavy metal deposition in Europe. Estimations based on moss analysis, Vol. 9. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Nord, pp. 1-53.

- **RUHLING, A., RASMUSSEN, L., PILEGAARD, K., MAKEN, A. et STEINNES, E., 1987.** Survey of atmospheric heavy metal deposition. *Nord* 21, 1-44. Salines et Boudet, 2011).

- **SETRA, MAZOUÉ, 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.

- **SEAWARD, M.R.D., 1973.** Lichen ecology of the Scunthorpe Heathlands. I. Mineral accumulation. *Lichenologist* 5, 423-433.

- **SEAWARD, M.R.D., 1974.** Some observations on heavy metal toxicity and tolerance in lichens. *Lichenologist* 6: 158-164.

- **SEAWARD, M.R.D., 1993.** Lichens and sulfur dioxide air pollution: Field studies. *Environ. Rev.* 1, 73-91.

- **SEMADI, A., 1983.** Incidence de la pollution fluorée d'origine industrielle sur la végétation de la région de Annaba (Algérie). Thèse de Doct. Ing., Université de Pris 7, 79p.

- **SEMADI, A., 1989.** Effet de la pollution atmosphérique, pollution globale, fluorée, plombique sur la végétation dans la région de Annaba (Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat en Science Nat. Université P. et M. Curie (Paris 6), 339p.

- **SEMADI, A. ET DECORMIS, L., 1986.** Influence de la pollution fluorée sur la végétation de la région de Annaba (Algérie). *Rev. Pollu. Atmos.* Avril-Juin 1993, 113-121.

- **SEMADI, A. ET DERUELLE, S., 1993.** Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). Pollution atmosphérique, Octobre- Décembre, 86-102. Sen-Salerno et Blakeway, 1987.

- **SERRADJ, M., 1991.** Etude des bios indicateurs dans la détection de la pollution acide. Thèse de Magister I.S.N. Annaba.

- **SIVERSTEN, 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.

- **S.F.S.P , Société française de santé publique , 1996.** La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. Collection Santé et Société n°4, mai 1996, 251p.

- **SMITH, A.J.E., 1978.** The moss flora of Britain and Ireland. Cambridge *University Press*, Cambridge 706.

- **STEPHANIE, L., 2005 :** Cours de pollution atmosphérique Inventaires d'émissions, Centre d'Enseignement et de Recherche sur Atmosphérique, 47P.

- **SUCHAROVA, J., SUCHARA, I., 1995.** 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* 223: 37-52

- **TAKALA , K., OLKKEN, H., 1976.** Lead content of lichens *Pseudovernia furfuracea* in the urban area of Kuopio, central Finland. In proceedings of the Kuopio meeting on plant damages caused by air pollution, *Kuopio*. Ed. Lauri Karanlampi, 64-67.

- **TRETIAGH, M., ADAMO, P., BARGAGLI, R., BARUFFO, L., CARLETTI, L., CRISAFULLI, P., 2007.** Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I. Influence of exposure on sample vitality. *Environmental Pollution*, 146(2), 380–391.

- **TROLL, W., LINDSLEY, G., 1955.** A photometric method for determination of proline G. *Biol. Chem.* 215, 655-660

- **TYLER, G., 1990.** Bryophytes and heavy metals: a literature review. *Botanical Journal of the Linnean Society* (1990) 104: 231-253.

- **ULRICH, B., PANKRATH, J.** 1983. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. Springer, Dordrecht. 412 p.

- **VAN HALUWYN, C., LEROND, M., 1986.** Les lichens et la qualité de l'air : Evolution méthodologique et limites. Rapport n° 2130. Ministère de l'environnement (S.R.E.T.I.E.), 213 p.

- **VAN HALUWYN, C., LEROND, M., 1993.** Guide des lichens. Ed. Le chevalier, Paris, 334p.

- **VUKOVIC, G ., ANICIC, R., UROSEVIC, M; TOMASIVIC, 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., 1999.** Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application. *The Sci. of the Total Environ.* 226:113 – 119.

- **WEHR, J.D., WHITTON, B.A., 1983.** Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. Seasonal changes. *Hydrobiologia*, (1983_b) 100: 285-291.

- **WHITTON, B.A., SAY, P.J., JUPP, B.P., 1982.** Accumulation of zinc, cadmium and lead by the aquatic liverwort *Scapania* . *Environmental Pollution* (serie b), 3: 299-316.

- **WOLF, E., SUTTIE, E., PEEL, D., 1999.** Antarctic snow record of cadmium, copper, and zinc content during the twentieth century. *Atmospheric Environment* 33: 1535-1541.

- **WOLF, J. H. D., 1993.** Epiphyte communities of tropical Montana forests in the northern Andes. II. Upper Montana communities. *Phycocoenologia*, 22(1): 53-103.