

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

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



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme master II en Sciences Biologiques

Spécialité: "Biodiversité et Conservations des Ecosystèmes Forestiers "

## Biosurveillance de la pollution atmosphérique par l'utilisation des lichens bioindicateurs dans la ville de Tlemcen

Présenté par :

M<sup>elle</sup>: MANAA KHADIDJA HADJAR

**JURY:**

- Président: Mr NEGADI M.
- Promoteur: Mr BERRAYAH M.
- Co-promoteur: Mr AZZAOU M.
- Examineur: Mme. CHAFAA F.

Année universitaire: 2014–2015



## *Remercîments*

*Au nom de Dieu le Clément et le Miséricordieux,  
J'aimerais en premier lieu remercier Allah qui m'a donné la  
Volonté et le courage pour réaliser ce travail.*

*J'adresse de vifs remerciements à mon promoteur de  
mémoire, M. BERRAJAH MOHLAMED pour son attention  
de tout instant sur mes travaux, pour ses conseils avisés et  
son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite  
de ce travail. Son énergie et sa confiance ont été des  
éléments moteurs pour moi. J'ai pris un grand plaisir à  
travailler avec lui.*

*Un sincère remerciement pour mon Co-encadreur Mr.  
AZZAOU*

*Je tiens aussi à remercier les membres de jury qui ont  
accepté d'évaluer notre travail*

*Bien sûr, atteindre ces objectifs n'aurait pas été possible sans  
l'aide de Dr. NACERDDIN DJELAL, Maître de conférences  
à l'USTHB*

*Un sincère remerciement au staffe du laboratoire de  
l'écologie végétale qui m'ont aidé durant mon travail*

*J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs,  
intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles,  
leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes  
réflexions et ont accepté de répondre à mes questions durant  
mes recherches.*





## *DEDICACE*

*A mes chers parents, Dr Kaddour MANNA et mon aimable et honorable maman, qui m'ont soutenu durant toute ma vie*

*Vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études*

*A mes frères MUSTAPHA et ACHRAF MANAA*

*A la mémoire de mes chers frères MOHAMED LYES et RAFIK que DIEU ai paix sur leurs âmes*

*A la mémoire de ma grande mère Iella FATIMA ZOËRA que DIEU ai paix sur son âmes*

*A ma chère tante Dhahbia*

*A mes chers cousins et amis NACEREDDIN DJELAL et SABRINA BOUDJNAN*

*Au petit ange RAZAN*

*A mon amie FAIROUZ*

*A mes professeurs*

*A tous ceux qui me sont chers*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin*

*A vous...*



## *Sommaire*

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction**.....1

### **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

#### **Chapitre 01 : Pollution atmosphérique**

I- Pollution atmosphérique.....3

II- Les sources de la pollution atmosphérique.....3

II-1- Sources naturelles.....4

II-1- Sources anthropiques.....4

III- Origines et natures des polluants atmosphériques.....5

IV- Les principaux polluants atmosphériques.....5

IV-1- Le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub>.....7

IV-2- Le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>.....8

IV-3- L'ozone O<sub>3</sub>.....8

IV-4- Le monoxyde de carbone CO.....8

IV-5- Le benzène.....8

IV-6- Eléments traces métalliques.....9

IV-6-1- Le plomb.....9

IV-6-2- Le zinc et le cadmium.....9

IV-6-3- Le cuivre.....10

IV-7- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques.....10

IV-8- Les particules fines en suspension.....10

V- Conséquences de la pollution atmosphérique.....11

## Chapitre 02 : Biosurveillance et Lichens

I- La biosurveillance.....	12
I-1- Strategie de la mise en œuvre de la biosurveillance.....	13
I-1-1- Biosurveillance passive ( <i>in situ</i> ).....	13
I-1-2- Biosurveillance active.....	13
II- Biosurveillance par les Lichens.....	13
III- Les Lichens.....	14
III-1- Critères morphologiques du thalle lichenique.....	14
- Les thalles crustacés.....	15
- Les thalles foliacés.....	15
- Les thalles fruticuleux.....	15
- Les thalles gélatineux.....	15
- Les thalles complexes.....	15
- Les thalles squamuleux.....	15
III-2- Les principaux organes portés par le thalle.....	16
III-3- Critères écologiques des Lichens.....	17
III-3-1- Facteurs du milieu.....	18
III-3-2- Facteur Biotiques.....	18
III-4- Reproduction des Lichens.....	18
- La dissémination du complexe lichénique.....	18
- La reproduction du champignon.....	18
III-5- Intérêts des lichens.....	19
III-5-1- Usages alimentaires.....	19
III-5-2- Usages médicinaux.....	20
III-5-3- Usages industriels.....	20

III-5-4- Usage comme bioindicateurs.....	20
--	----

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre 03 : description de la zone d'étude**

I- Situation géographique.....	22
II- Relief et Topographie.....	23
III- Les facteurs climatiques.....	23
III-1- Les précipitations.....	23
III-2- Les Températures.....	25
III-4- Le vent.....	26
III-5- Synthèse climatique.....	27
III-5-1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN(1953).....	27
III-5-2- Le Quotient Pluviothermique d'EMBERGER.....	27
IV- Le cadre humain.....	30
V- Réseau routier.....	30
VI- Parc Automobile.....	31

### **Chapitre 04 : Matériel et méthodes**

I- Le choix des stations.....	33
II- Le matériel utilisé.....	34
III- Méthode de travail.....	34
III-1- Transplantation lichénique de Xanthoria Parietina et Parmelia sulcata.....	34
III-2- Prélèvement des échantillons.....	35
III-3- Traitement des échantillons.....	35
III-4- Préparation des solutions étalons.....	38

III-5- Dosage par spectrométrie à absorption atomique.....	38
--	----

## **Chapitre 05 : Résultats et Discussions**

I- Résultats et discussions.....	39
----------------------------------	----

I-1-Résultats obtenus.....	39
----------------------------	----

I-2- Représentation graphique des résultats.....	42
--	----

I- 3- Analyse descriptive des résultats obtenus.....	45
--	----

I-4- Représentation graphique en Box Plot.....	47
--	----

<b>Conclusion</b> .....	49
-------------------------	----

Références Bibliographiques

Annexes

## LISTE DES ABREVIATIONS

- 1- **A.N.A.T** : Agence Nationale d'Aménagement du Territoire
- 2- **COV** : Les Composés Organiques Volatiles
- 3- **Cu O4 S5 H2O**: pentahydrate sulphate de cuivre
- 4- **ETM** : Les éléments traces métalliques
- 5- **HAP** : Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- 6- **P** : précipitations annuelles (mm)
- 7- **PM** : Particulate matter : Les particules en suspension
- 8- **M** : température maximale du mois le plus chaud
- 9- **m** : température minimale du mois le plus froid
- 10- **Nm3**: Normal Mètre Cube
- 11- **N2O6 Cd 4H2O**: Cadmium nitratetetrahydrate
- 12- **SAA** : Spectromètre à absorption atomique
- 13- **UV-B** : Rayonnement ultraviolet dont la longueur d'onde va de 315 à 280 nm
- 14- **W.H.O**: World Health Organisation
- 15- **ZnS**: Sulfure de zinc

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure N° 01 :</b> Les différents cycles biogéochimiques en relation avec l'atmosphère.....	3
<b>Figure N° 02 :</b> La formation des principaux polluants atmosphériques.....	7
<b>Figure N° 03 :</b> Coupe verticale à travers le corps d'un lichen.....	14
<b>Figure N° 04 :</b> Thalles de lichens : crustacé (A), foliacé (B) et fruticuleux (C).....	16
<b>Figure N°05 :</b> Situation géographique de la Wilaya de Tlemcen.....	22
<b>Figure N° 06 :</b> Diagramme ombrothermique de la ville de Tlemcen.....	27
<b>Figure N° 07 :</b> Quotient pluviothermique d'EMBERGER .....	28
<b>Figure N° 08 :</b> Réseau routier de la wilaya de Tlemcen.....	31
<b>Figure N° 09 :</b> Broyage des lichens.....	36
<b>Figure N° 10:</b> Evaporation des échantillons dans le bain de sable.....	37
<b>Figure N° 11 :</b> Mise en solution des échantillons.....	37
<b>Figure N° 12 :</b> Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le plomb (Pb) au niveau de la ville de Tlemcen.....	42
<b>Figure N° 13 :</b> Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le cuivre (Cu) au niveau de la ville de Tlemcen.....	43
<b>Figure N°14 :</b> Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le zinc (Zn) au niveau de la ville de Tlemcen.....	44
<b>Figure N° 15 :</b> Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le zinc (Zn), le plomb (Pb) et le cuivre (Cu) au niveau de la ville de Tlemcen.....	44
<b>Figure N° 16 :</b> Représentation graphique en Box plots des teneurs en plomb (Pb).....	47
<b>Figure N° 17 :</b> Représentation graphique en Box plots des teneurs en cuivre (Cu).....	48
<b>Figure N° 18 :</b> Représentation graphique en Box plots des teneurs en zinc (Zn).....	48

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau N° 01</b> : Les principaux polluants atmosphériques réglementés en Algérie.....	6
<b>Tableau N° 02</b> : Les précipitations moyennes annuelles de la ville de Tlemcen (1924-1945).....	24
<b>Tableau N° 03</b> : précipitations moyennes mensuelles et annuelles de Tlemcen.....	24
<b>Tableau N° 04</b> :Températures maximales moyennes de la ville de Tlemcen (1981-2014).....	25
<b>Tableau N° 05</b> : Températures minimales moyennes de la ville de Tlemcen (1981-2014)...	25
<b>Tableau N° 06</b> : Températures moyennes mensuelles et annuelles de la ville de Tlemcen (1981-2014).....	26
<b>Tableau N° 07</b> : la vitesse moyenne du vent au niveau de la ville de Tlemcen entre 1981-2014.....	26
<b>Tableau N° 08</b> : caractères bioclimatique de la ville de Tlemcen.....	28
<b>Tableau N° 09</b> :l'évolution de population au niveau de la ville de Tlemcen Par dispersion (1966-1998).....	30
<b>Tableau N° 10</b> : Le réseau routier du groupement Tlemcen - Mansourah - Chetouane.....	30
<b>Tableau N° 11</b> : Répartition du parc automobile par catégorie Wilaya de Tlemcen.....	32
<b>Tableau N°12</b> : les stations choisies pour l'étude.....	33
<b>Tableau N° 13</b> : Les résultats du dosage des ETM dans les différentes Stations de la Ville de Tlemcen.....	39
<b>Tableau N° 14</b> : les concentrations en Zn, Cu et Pb par espèce ( <i>Xanthoria parietina</i> et <i>Parmelia sulcata</i> ).....	41
<b>Tableau N °15</b> : Statistiques descriptives des différentes classes de concentration en (Pb) avec les témoins.....	45
<b>Tableau 16</b> : Statistiques descriptives des différentes classes de concentration en zinc(Zn) avec les témoins.....	45
<b>Tableau 17</b> : Statistiques descriptives des différentes classes de concentration du cuivre(Cu) avec les témoins.....	46

## INTRODUCTION

Albert Einstein a dit une fois que l'environnement est " tout ce qui n'est pas moi", donc pour le bien être du "moi" il faut bien préserver et prendre soin du "tout ce qui n'est pas moi" (Berthouex et Brown, 2013). Un environnement sain est celui qui est en mesure de faire une balance entre les besoins de sept milliards d'homme et les cycles naturels des éléments nutritifs essentiels. Hélas, Depuis le début du siècle dernier, les émissions anthropiques vers le compartiment atmosphérique se sont intensifiées et diversifiées et de nombreux éléments chimiques sont suspectés d'impacter durablement notre environnement en dérégulant les grands cycles biogéochimiques (Pédro, 2007).

En fait, la pollution atmosphérique est un phénomène qui nécessite beaucoup de travail pour minimiser ses dégâts sur l'environnement et sur la santé de l'homme, à court et à moyen terme. Il faut tout d'abord bien reconnaître les sources de la pollution de l'air, les identifier et les qualifier afin de bien assimiler ce problème environnemental qui menace l'existence des êtres vivants sur terre.

Bien que de nombreux efforts dans la réduction des émissions aient déjà été réalisés pour certains polluants(SO<sub>2</sub>, par exemple), d'autres restent à poursuivre. C'est notamment le cas pour les éléments traces métalliques (métaux lourds) (Pb, Zn, Cd, Cu...). D'ailleurs, leur faible teneur dans l'environnement favorise aisément leur enrichissement par les nombreux apports anthropiques (Rauchet Pacyna, 2009). Ces derniers sont susceptibles d'entrer dans les réseaux trophiques par l'intermédiaire des dépôts atmosphériques (Ulrich et Pankrath, 1983) et causent, ainsi, de nombreux effets nocifs sur les écosystèmes.

## Introduction

La Biosurveillance repose sur la faculté de certains organismes vivants à réagir à l'exposition d'un ou plusieurs polluants pour révéler une altération de l'environnement et pour en suivre son évolution (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

L'objectif de ce présent travail est d'évaluer la pollution atmosphérique au niveau de la ville de Tlemcen à l'aide des lichens bio-accumulateurs. Présents dans la plupart des écosystèmes terrestres, les lichens forment une part importante de la biodiversité de nos milieux naturels, par le grand nombre de formes qu'ils présentent et la variété des conditions écologiques qu'ils recherchent. En effet, Les lichens sont 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 (bio indication) ou des communautés (bio intégration), de l'échelle géochimique par l'accumulation de contaminants (bioaccumulation). En outre, la bioaccumulation consiste à utiliser la propriété de certaines espèces (lichens dans notre cas) à accumuler les polluants dans leurs tissus sans que les individus ne disparaissent. L'organisme bio-accumulateur sert alors de matrice pour doser les polluants.

Ce mémoire s'articule principalement sur deux parties devisées chacune en chapitres :  
**La première partie :** représentant une synthèse bibliographique, elle est subdivisée en deux chapitres :

- **Chapitre 01 :** donne une idée générale sur la pollution atmosphérique ainsi que les principaux polluants de l'air.
- **Chapitre 02 :** concerne la Biosurveillance et ces différentes techniques. Ce chapitre présente aussi les lichens et leurs relations avec la Biosurveillance.

**La deuxième partie :** Il s'agit de la partie expérimentale. Elle est devisée elle-même en trois chapitres :

- **Chapitre 01 :** comporte une représentation générale de la zone d'étude
- **Chapitre 02 :** Matériels et Méthodes, présente les techniques expérimentales de prélèvement, de traitement des échantillons et de la mise en œuvre du dosage.

## Introduction

- **Chapitre 03** : Résultats et discussions, ce dernier chapitre présente les résultats obtenus et leurs interprétations.

## I- La Pollution Atmosphérique

La civilisation contemporaine a malheureusement causé d'énormes problèmes environnementaux. L'explosion démographique, la croissance de la consommation des combustibles et le progrès de l'industrie ont entraîné une colossale pollution atmosphérique. Cependant, il faut tout d'abord bien reconnaître les sources de la pollution de l'air, les identifier et les qualifier afin de bien assimiler ce problème environnemental qui menace l'existence des êtres vivants sur terre.

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). Selon Emilian Koller (2004), le terme "pollution atmosphérique" désigne l'ensemble des rejets des composés toxiques libérés par l'homme dans l'atmosphère, mais aussi les substances malodorantes qui, sans être vraiment dangereuses dans l'immédiat pour les organismes vivants, exercent tous de même une action perturbatrice sur l'environnement.

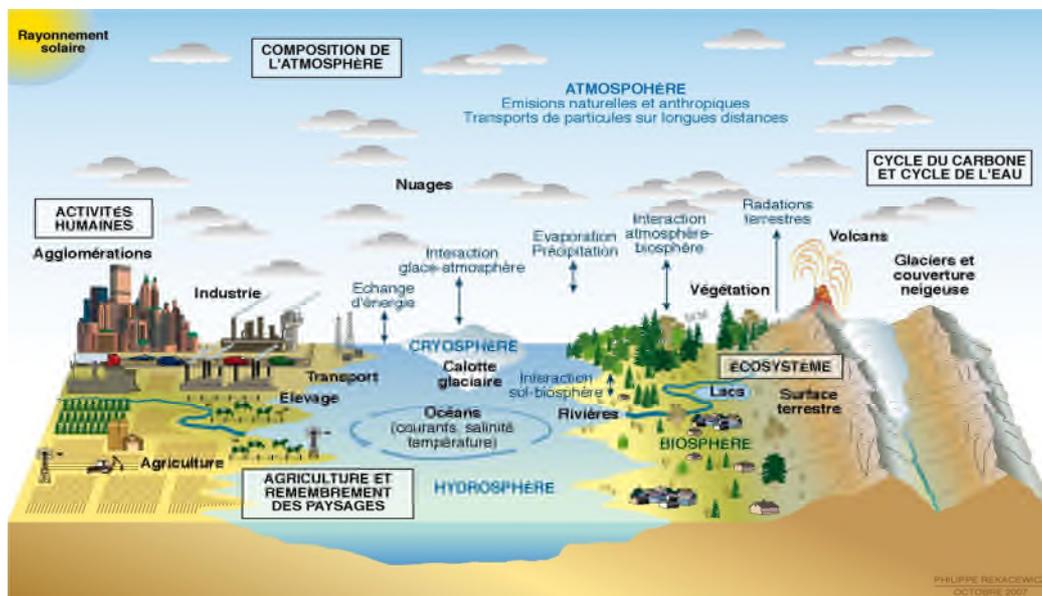


Figure N° 01 : Les différents cycles biogéochimiques en relation avec l'atmosphère

## II- Les Sources de la Pollution Atmosphérique :

Bien que les substances qui provoquent la pollution atmosphérique proviennent souvent de sources naturelles, elles se retrouvent aussi dans l'atmosphère depuis des sources variées.

## II-1- Sources Naturelles

Les émissions naturelles en éléments traces (ETM) vers l'atmosphère ont diverses origines (Pacyna, 1986 ; Nriagu, 1989 ; Colbeck, 2008) :

- la **source terrigène** : l'altération des roches et l'érosion éolienne permettent l'envolement de poussières lithogéniques (Al, Co, Cr, Fe, Mn, Ni et V),
- la **source volcanique** : l'activité volcanique émet jusqu'à la stratosphère d'importantes quantités de métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Sb) avec une forte variabilité temporelle,
- la **source marine** : la formation de vagues et d'embruns marins participent à près de 10 % de l'émission des métaux vers l'atmosphère (Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, V et Zn),
- la **source biogénique** : les feux de biomasse sont responsables d'émissions ponctuelles (Cu, Pb et Zn),
- la **source météoritique** : diverses origines extra-terrestres contribuent plus marginalement.

## II-2- Sources anthropiques

Les sources anthropiques sont majoritairement présentes en régions industrialisées et urbanisées. Ainsi, des éléments tels que l'As, Cd, Cu, Pb ou le Zn peuvent y être fortement concentrés (Pacyna, 1986 ; Finlayson-Pitts et Pitts, 2000 ; Pacyna et Pacyna, 2001) :

- la **production énergétique** : la principale source de contaminants métalliques atmosphérique, incluant la combustion de bois, de charbon (As, Cd, Mn, Pb, Sb, Zn...) et de pétrole (Ni, V...) et la transformation énergétique (Pb, V...),
- l'**industrie métallurgique** : extraction, exploitation et utilisation de minerais (Cd, Cu, Ni, V, Zn...),
- les **procédés industriels** : processus de haute température, industrie manufacturière, industrie métallurgique (As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn...),
- le **transport** : trafic automobile (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn), batteries automobiles (Cd, Ni, Pb...), érosion des plaquettes de freins (Cu, Sb), érosion de caténaire (Cu),

- le **traitement des déchets** : combustion des déchets par les unités d'incinération des ordures ménagères (As, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn...) et les stations d'épuration .

Une autre classification fréquente se fait en terme de, sources stationnaires (centrales thermiques, incinérateurs, appareils industriels, etc.) et sources mobiles (transport automobile, navires et avions). On peut aussi parler de sources uniques (une cheminée) ou multiples (une ligne de cheminées) (koller, 2004).

### III- Origines et Nature des Polluants Atmosphériques

On entend par polluant atmosphérique, toute substance étrangère qui ne fait pas partie de la composition habituelle de l'air, et qui, sous forme liquide, gazeuse ou solide provoque une pollution atmosphérique. Haryonto, (2012) insiste que les polluants de l'air sont généralement définis comme étant les substances qui altèrent la composition naturelle de l'atmosphère.

Les émissions des polluants atmosphériques proviennent pratiquement de toutes les activités économiques et industrielles, mais aussi des phénomènes naturels tels que les activités volcaniques, les vents de sable ou les incendies de forêts :

- **Polluants Primaires** : ce sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Il s'agit des hydrocarbures ou des composés soufrés et nitrés.
- **Polluants Secondaires** : ce sont le résultat de la transformation physico-chimique des polluants primaires qui se trouvent dans l'atmosphère.

### IV- Les Principaux Polluants Atmosphériques

Selon la réglementation algérienne, la surveillance de la qualité de l'air concerne les substances gazeuses suivantes :

- le dioxyde d'azote ;
- le dioxyde de soufre ;
- l'ozone ;
- les particules fines en suspension.

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

Selon le décret exécutif 2006, La détermination des objectifs de qualité de l'air et des valeurs limites de pollution atmosphérique est fixée sur une base moyenne annuelle.

Le tableau suivant présente les valeurs limites, l'objectif de qualité, le seuil d'information et le seuil d'alerte fixés par l'état Algérien pour surveiller la pollution de l'air :

**Tableau N° 01** : Les principaux polluants atmosphériques réglementés en Algérie (décret exécutif, 2006)

	objectif de qualité	valeur limite	seuil d'information	seuil d'alerte
Le Dioxyde d'Azote NO <sub>2</sub>	135 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	200 micro grammes/Nm <sup>3</sup> (centile 98)	400 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	600 micro grammes/Nm <sup>3</sup>
Le Dioxyde de Soufre SO <sub>2</sub>	150 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	350 micro grammes/Nm <sup>3</sup> (centile 99,9)	350 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	600 micro grammes/Nm <sup>3</sup>
l'Ozone O <sub>3</sub>	110 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	200 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	180 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	360 micro grammes/Nm <sup>3</sup>
les particules fines en suspension	50 micro grammes/Nm <sup>3</sup>	80 micro grammes/Nm <sup>3</sup> .	/	

Selon le même décret exécutif :

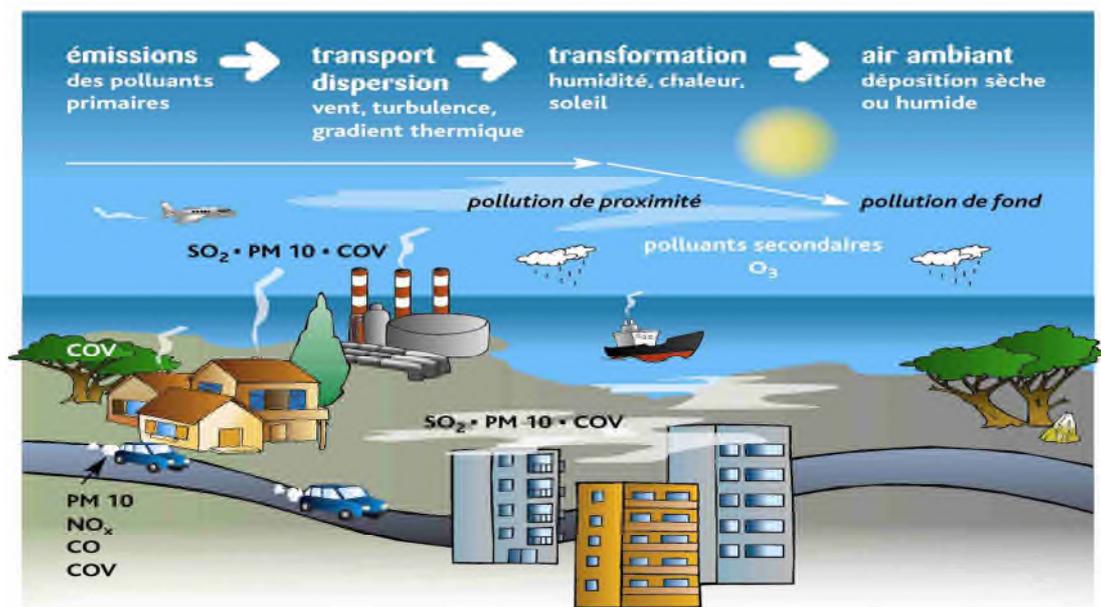
**Objectifs de qualité:** Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

- **Seuil d'information** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée à 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.

Par ailleurs, les polluants réglementés par l'union européenne sont :

- le Dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$
- $\text{PM}_{10}$  ou les particules en suspension dont le diamètre est inférieur à  $10\mu$
- le Dioxyde d'Azote  $\text{NO}_2$
- l'Ozone  $\text{O}_3$
- le Monoxyde de Carbone  $\text{CO}$
- le Benzène
- 
- les éléments traces métalliques (ETM)
- les Hydrocarbures aromatiques polycycliques



**Figure N° 02 :** La formation des principaux polluants atmosphériques (airfobep.org, 2015)

#### IV-1- Le Dioxyde de Soufre $\text{SO}_2$

Historiquement, le  $\text{SO}_2$  provenant de la combustion de combustibles fossiles a été la principale cause de la pollution de l'air dans de nombreuses parties du monde. Les problèmes les plus graves ont été expérimentés dans les grandes zones urbaines où le charbon a été utilisé pour le chauffage domestique fins, ou pour la combustion mal contrôlée dans des

installations industrielles (W.H.O, 2000). Le Dioxyde de soufre est un gaz incolore, irritant et très soluble dans l'eau. Il provient essentiellement des combustibles fossiles tels que les fiouls lourds et le charbon par l'oxydation des impuretés soufrés qu'ils contiennent. Les véhicules à moteurs contribuent aussi à sa propagation dans l'air.

#### **IV- 2- Le Dioxyde d'Azote NO<sub>2</sub>**

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 NO<sub>2</sub> est très toxique pour l'homme, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper activité bronchique.

#### **IV-3 - l'Ozone O<sub>3</sub>**

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 ug / m<sup>3</sup>) et "seuil d'alerte" (360 ug / m<sup>3</sup>).

#### **IV-4 - le 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 M, 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 CO<sub>2</sub> et contribue à l'effet de serre.

#### **IV-5-le Benzène**

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 (Composés Organiques Volatiles). Il est donc très volatil et très mobile. 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.

#### **IV-6- Eléments traces métalliques**

Les éléments traces métalliques (les métaux lourds) sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles sous forme de traces. Il s'agit de tous les éléments de transition possédant une orbitale d'insaturée, y compris les lanthanides et les actinides (bloc d et f de la classification de Mendeleïev), à l'exception du scandium, du titane et de l'yttrium.

On classe de même parmi les ETM, les éléments intermédiaires les moins électronégatifs du bloc p, parmi lesquels figurent le plomb et l'étain (Fourest, 1993). Les principaux métaux lourds émis dans l'atmosphère par les activités humaines sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), l'arsenic (As), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le sélénium (Se) et le zinc (Zn). Ces polluants peuvent s'avérer fortement toxiques et détériorer les sols, les eaux de surface, les forêts et les cultures. Les métaux lourds peuvent également être émis dans l'atmosphère par des sources naturelles, notamment par les feux de forêts, les éruptions volcaniques et par entrainement des particules provenant du sol.

##### **IV-6-1- 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).

#### **IV-6-2- Le zinc et le 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).

#### **IV-6-3- 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.

#### **IV-7- les Hydrocarbures aromatiques polycycliques**

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 (O.M.S, 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 etc.), ainsi que d'imbrûlés. Le phénomène d'émissions de HAP provenant d'imbrûlés de la matière organique est prévisible, étant donnée les quantités de HAP déjà présentes dans les différents combustibles.

#### **IV-8- les particules fines en suspension**

Les particules en suspension, (notées « PM » en anglais pour « *Particulate matter* »), sont d'une manière générale les fines particules solides portées par l'eau ou solides et/ou liquides portées par l'air. Les particules sont d'origines anthropiques et naturelles.

- Les particules d'origine naturelle proviennent principalement d'éruptions volcaniques et de l'érosion éolienne naturelle ou issue de l'avancée des déserts (parfois d'origine anthropique), les incendies et feux de végétation.
- Les activités humaines, telles que le chauffage (notamment au bois), la combustion de combustibles fossiles dans les véhicules, les centrales thermiques et de nombreux procédés industriels en génèrent également d'importantes quantités. Elles sont en augmentation nette depuis deux siècles.

## V- 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 SO<sub>2</sub>, 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 (Rosmanet *et al.*, 1994 ; Wolff *et al.*, 1999., Lee *et al.*, 2008).

- Sous l'effet des oxydes d'azote (NOX) et du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), 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 sont 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 humaine car ils entraînent des cancers de la peau (Fan et *al.*, 2009).

## ***I- La Biosurveillance***

La biosurveillance est une technique qui consiste à utiliser tout organisme sensible à son milieu environnant et pouvant accumuler et contenir des substances polluantes. Elle consiste à mettre en évidence une altération de l'environnement (une pollution, par exemple) à travers ses impacts sur le fonctionnement des organismes qui y vivent.

Selon Garrec et van Haluwyn (2002), la biosurveillance est l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution.

Cette technique est réalisée soit par prélèvement direct depuis le milieu (biosurveillance passive), soit à travers la transplantation d'échantillons (biosurveillance active). Il devient donc important de définir, ici, les termes relatifs à la biosurveillance, en s'efforçant de différencier les mécanismes biologiques (bioaccumulation et bioamplification) des outils de diagnostic environnemental (biointégration, bioindication, biomarquage et bioaccumulation) (Garrec et van Haluwyn, 2002) :

- la **biointégration** : observation de changements structurels au niveau population/communauté en réponse à un stress environnemental sur la durée ; la biointégration peut être considérée comme de la bioindication à un niveau supérieur (il y a en effet souvent confusion entre ces deux termes),
- la **bioindication** : observation des réponses biologiques (morphologique, physiologique, tissulaire, etc.) d'un organisme vivant exposé à un contaminant,
- le **biomarquage** : utilisation de marqueurs aux niveaux de la biologie structurelle ou fonctionnelle (enzyme, physiologie, génétique) indiquant une influence du milieu environnant sur les fonctions biologiques,
- la **bioaccumulation** : outre le mécanisme naturel par lequel une substance présente dans l'environnement s'accumule dans l'organisme (à ne pas confondre avec la bioamplification qui correspond à la concentration de ces substances d'un niveau trophique à l'autre), cette technique vise à déterminer les teneurs en éléments

chimiques bioaccumulés depuis l'environnement (illustration de la qualité de l'environnement dans lequel croît cet organisme).

## II-1- Stratégie de la mise en œuvre de la Biosurveillance

Deux approches de la biosurveillance sont possibles : - la méthode passive, qui est l'utilisation des végétaux en place, - la méthode active, qui est la mise en place sur un site donné pendant une période donnée de végétaux génétiquement sélectionnés et cultivés dans des conditions standardisées

- **biosurveillance passive (in situ)**

Selon Conti et Cecchetti (2001), cette stratégie consiste à utiliser les végétaux en place qui poussent naturellement sur les lieux d'investigation, elle présente l'avantage d'une présence dans la durée et d'être rapide. On doit cependant prendre en considération les précautions suivantes :

- ❖ Une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentatifs de la zone étudiée ;
- ❖ Une saisonnalité compatible avec les objectifs à atteindre ;
- ❖ Un mode de collecte facile

- **biosurveillance active**

C'est une méthode de transplants qui aboutit à l'emploi 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 méthode nécessite plus de temps (Ceburnis et Valiulis, 1999).

L'avantage principal de la transplantation est de permettre un total contrôle du temps d'exposition. Pour exploiter les résultats obtenus par la méthode des transplants, les concentrations initiales en polluants (avant la phase d'exposition) doivent être déterminées (Garrec, 2007).

## II- Biosurveillance par les Lichens

L'utilisation des lichens ou des végétaux supérieurs constitue un complément simple, rapide et économique aux méthodes physicochimiques classiques. Elle permet une surveillance environnementale à proximité de sources fixes ponctuelles ou agglomérées, mais également une évaluation sur le long terme des désordres écologiques causés par les aéro-contaminants à la biodiversité et à la densité des populations végétales (Garrec et van Haluwyn, 2002).

Certaines caractéristiques des lichens et des bryophytes répondent aux spécifications nécessaires pour la biosurveillance. Il s'agit notamment de grandes zones géographiques permettant la comparaison de la teneur en métaux lourds dans différentes régions, ainsi qu'une morphologie spécifique qui ne varie pas avec les saisons ce qui permet l'accumulation des polluants durant toute l'année (Pucket, 1988). Les lichens accumulent les métaux lourds à la fois par le piégeage des particules ainsi via l'échange ionique (Garty *et al.* 1979).

## II- Les Lichens

Un lichen est une association symbiotique obligatoire entre un champignon et une algue et sa détermination est très délicate (Ozendaet 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). En effet, 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 64200 sont lichénisés (soit 20%).



**Figure N° 03 :** Coupe verticale à travers le corps d'un lichen (illustration de V. Ahmadijian et J.B. Jacobs, 1998).

### II-1- Critères 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'hyphe 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).

➤ **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.

➤ **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).

➤ **Les thalles gélatineux**

Ils contiennent des cyanobactéries qui vont leur donner cette couleur. A l'état sec il est noir, coriace et friable. En présence d'eau ils gonflent pour donner une masse gélatineuse, particulièrement glissante et donc dangereuse pour les personnes effectuant de la marche ou de la varappe

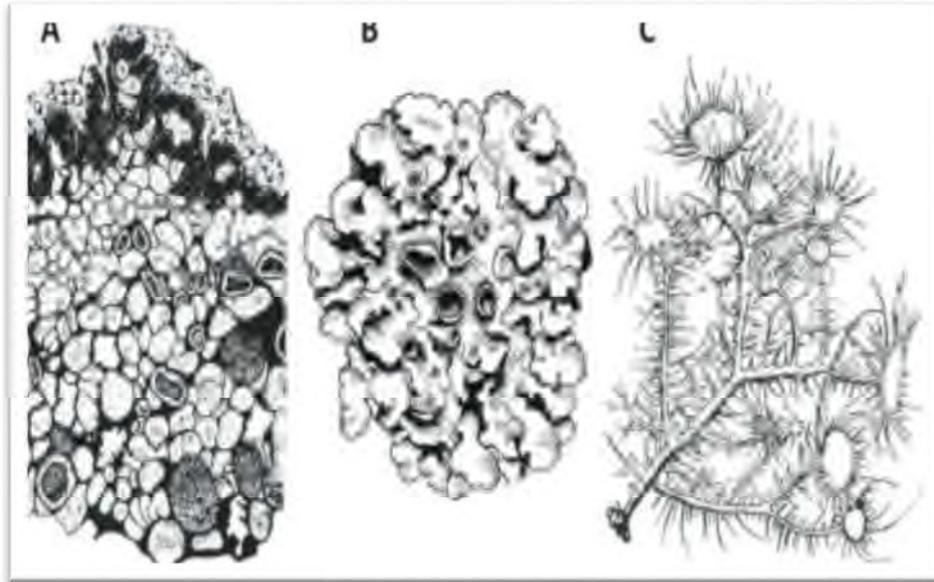
➤ **Les thalles complexes**

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).



**Figure N° 04 :** Thalles de lichens : crustacé (A), foliacé (B) et fruticuleux (C) (Ozenda, 2006)

## II-2- 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 soréales, 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).

### II-3- Critères écologiques des lichens

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 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).

Selon la nature du support, les lichens peuvent avoir plusieurs dénominations :

- Lichens corticoles** : le substrat est l'écorce des troncs ou les branches des arbres ;
- Lichens folicoles** : le substrat est représenté par le sol ;
- Lichens terricoles** : le substrat est l'humus ;
- Lichens lignicoles** : le substrat est le bois mort ;
- Lichens muscicoles** : les substrats sont les mousses ;
- Lichens nitrophiles** : ceux qui poussent sur les endroits riches en azote ;
- Lichens halophiles** : ceux qui préfèrent les milieux salés ;

□ **Lichens saxicoles** : les substrats sont soit des pierres, soit des roches calcaires (Lacaze, 1993).

### II-3-1- 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.

### II-3-2- 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 (a), 1993 (b) ; Purvis *et al.*, 2002).
- 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 (Mc Cune et Lesica, 1992 ; Wolf, 1993).

### II-4- 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 le 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).

Une soralie est une crevasse de l'écorce (formée par le champignon) au niveau de laquelle la médulle du lichen se résout en une poussière farineuse de sorédies qui sont des glomérules formées de quelques cellules d'algues entourées d'un peloton d'hyphes de très petite taille et de dispersion aisée. Alors que les isidies sont de petits bourgeons portés sur la surface des thalles, ces isidies plus lourds que les soralies, ne peuvent être transportées aussi loin, elles assurent plutôt une colonisation du substrat, on les considère généralement comme des organes de multiplication (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).

## II-5- Intérêts 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.

### II-5-1- 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).

### II-5-2- 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. Nous citons les plus célèbres des espèces médicinales :

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

### II-5-3- 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 ce jour 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).

### II-5-4- Usage comme Bio-indicateurs

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, tout 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.

## I- Situation Géographique

Tlemcen est une ville située à l'extrême nord-ouest de l'Algérie, à 589 km de la capitale, à une latitude de  $34.56^\circ$ , une longitude de  $-1.19^\circ$  et une altitude de 830 m. Elle est caractérisée par des conditions climatiques assez particulières à savoir, des étés chauds et secs et des hivers froids et rigoureux.

A l'échelle de la wilaya le groupement urbain Tlemcen Mansourah Chetouane, occupe une position centrale entre les plaines et plateaux intérieurs et les monts de Tlemcen. Le tissu urbain s'étend sur une superficie de 2 000 hectares environ.

De son côté la wilaya de Tlemcen s'étend sur une superficie de 9200 Km<sup>2</sup>. Elle est limitée :

- au Nord par la mer Méditerranée,
- au Nord-est par la wilaya de Ain Temouchent,
- à l'est par la wilaya de Sidi Bel-Abbes,
- à l'Ouest par le Maroc,
- et au Sud par la Wilaya de Naâma

Sur le plan organisation administrative la wilaya regroupe 20 Daïras et 53 Communes.



**Figure N°05** : Situation géographique de la Wilaya de Tlemcen (Metriet *all.*2012)

## II- Relief et topographie

La wilaya de Tlemcen constitue un paysage diversifié où on rencontre quatre ensembles physiques distincts du nord vers le sud :

- **La zone Nord** : Est constituée des Monts des Trara et Sebâa Chioukh.
- **Zone hétérogène** : Un ensemble de plaines agricoles (plaine de Maghnia, bassin de Tlemcen) caractérisé par de fortes potentialités agricoles, un tissu urbain dense, un bon réseau routier et une importante activité industrielle.
- **Les monts de Tlemcen** : Qui font partie de la chaîne de l'Atlas Tellien. C'est une chaîne de massif calcaire orientée du Sud vers l'Ouest et du Nord vers l'Est : Djbel Dar Cheikh 1616m, Djbel Tenouchfi 1834m, Djbel Kenouch 1526m, Djbel Rass Asfour 1502m, Djbel Ouragla 1717m et Djbel Nador 1579.
- **Zone steppique** : La zone sud constituée par les hautes plaines steppiques. Elle s'étend sur le 1/3 de la superficie de la Wilaya et constituée d'une nappe alfatière estimée à plus de 154000 ha.

## III- Les facteurs climatiques

La Wilaya de Tlemcen est caractérisée par climat méditerranéen, qui repose sur l'opposition d'un hiver océanique où la Wilaya est ouverte aux dépressions maritimes et un été désertique qui provoque la remontée et le stationnement d'une chaleur persistante durant toute la saison estivale.

### III-1- Les précipitations

L'étude des régimes pluviométriques et thermiques est d'une importance capitale pour la caractérisation des différents types de climat (PEGGUY, 1970). En effet, les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les habitants que pour les écosystèmes ; ce qui explique les résonances exceptionnelles que prennent les anomalies qui affectent ce paramètre. La pluviométrie est d'une manière générale soumise à une double irrégularité inter saisonnière et interannuelle.

Le climat de la région de Tlemcen comme toutes les régions méditerranéennes se caractérise par l'irrégularité de la pluviométrie dans l'espace, et par une non moins grande irrégularité dans le temps. (THINTOIN, 1948).

Le tableau suivant indique les précipitations moyennes dans la wilaya de Tlemcen dans différentes périodes :

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

**Tableau N° 02 :** Les précipitations moyennes annuelles de la ville de Tlemcen (1924-1945), (1946-1976) et (1977-1785) (source : PDAU, 2007)

On remarque que la période entre 1946-1976 était la plus humide avec 715mm tandis que la période entre 1977-1985 était la plus sèche avec 466mm. L'année la plus humide était 1950 avec 1253mm et l'année la plus sèche, 1983 avec 292mm.

Le tableau qui suit représente les précipitations mensuelles et annuelles au niveau de Tlemcen entre 1981et 2014. Les données climatiques sont prises de la station de Safsaf :

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	jui.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	Année (mm)
<b>Précipitations moyenne (mm)</b>	46,03	42,53	36,77	34,26	24,41	6,89	6,56	5,55	17,97	32,50	49,73	42,16	<b>343,58</b>

**Tableau N° 03 :** précipitations moyennes mensuelles et annuelles de Tlemcen

- La moyenne pluviométrique annuelle dans la ville de Tlemcen est de 343,58 mm.
- Le minimum est enregistré au mois d'Août avec 5,55 mm, tandis que le maximum est au mois de Novembre avec une quantité de 49,73 mm, suivi d'un maximum secondaire au mois de Janvier avec 46,03mm.
- En comparant les deux tableaux, on remarque que la dernière période 1981-2014 est la plus sèche avec seulement 343,58mm.

### III-2- Les Températures

L'importance de la température réside dans le fait qu'elle est considérée comme l'un des éléments fondamentaux du climat, affectant directement les processus biologiques et chimiques dans la biosphère et l'activité humaine en général. C'est l'un des éléments les plus importants pour caractériser le type de climat et déterminer son régime d'humidité ( Halimi, 1980).

Les trois tableaux suivants représentent respectivement les températures maximales moyennes, températures minimales moyennes et les températures mensuelles et annuelles dans la période 1981-2014 au niveau de la ville de Tlemcen. Les données climatiques sont prises de la station climatologique de Safsaf pendant la période 1981-2014..

- **Températures maximales moyennes (M)**

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	Année
Température maximale moyenne (°C)	18.00	16.00	19.80	23.00	27.00	29.00	31.50	34.00	30.00	25.50	22.00	16.00	24.31

**Tableau N° 04:**Températures maximales moyennes de la ville de Tlemcen (1981-2014)

- **Températures minimales moyennes (m)**

Mois	jan.	fév.	mar	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	Année
Température minimale moyenne (°C)	4.50	4.00	8.00	10.00	12.16	16.00	19.25	19.33	17.00	16.00	10.00	8.00	12.02

**Tableau N° 05 :** Températures minimales moyennes de la ville de Tlemcen (1981-2014)

- **Températures moyennes mensuelles et annuelles « T »**

Mois	jan.	fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	Année
<b>Température moyenne (°C)</b>	10.50	10.50	13.66	17.00	18.80	23.00	25.00	27.00	22.50	20.00	17.00	12.00	<b>18.08</b>

**Tableau N° 06 :** Températures moyennes mensuelles et annuelles de la ville de Tlemcen (1981-2014)

D'après le tableau précédent on constate que le mois d'août est le plus chaud de l'année avec une température moyenne de 27°C et le mois de janvier et le plus froid ainsi que le mois de février avec une température moyenne de 10,5°C. On règle générale août est le mois le plus chaud et janvier le mois le plus froid.

#### III-4- 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 sur le « sirocco » venant du sud qui caractérise plus la région. Il est le plus redoutable pour la végétation.

Le tableau suivant représente la vitesse moyenne du vent au niveau de la ville de Tlemcen, prises de la station de Safsaf entre 1981-2014 :

Mois	jan.	fév.	mar.	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.
<b>Vitesse moyenne du vent Km/h</b>	7,62	7,93	7,72	8,54	8,47	8,71	8,61	8,2	7,54	6,78	7,47	9,92

**Tableau N° 07:** la vitesse moyenne du vent au niveau de la ville de Tlemcen entre 1981-2014

### III-5- Synthèse climatique

#### III-5-1- Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN(1953)

Le diagramme ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné. Il comporte un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures. Les précipitations mensuelles sont représentées par un histogramme bleu et les températures mensuelles par une courbe rouge.

Dans le même graphe nous représenterons les courbes ombrothermique relatives aux précipitations et températures mensuelles. Dans le diagramme qui suit on peut remarquer que la saison sèche s'étend de la fin du mois d'avril jusqu'au début du mois d'octobre :

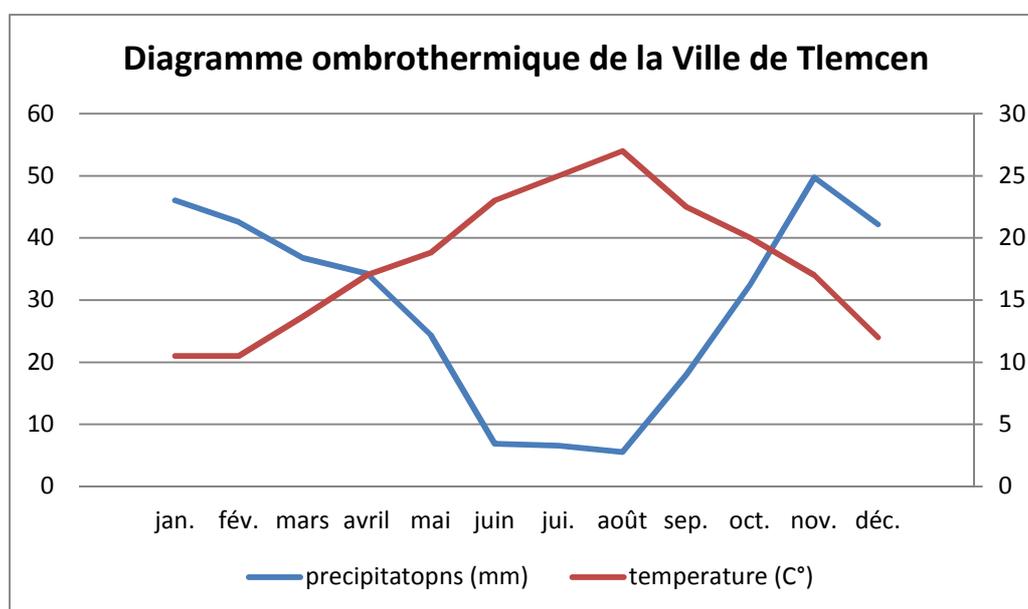


Figure N° 06 : Diagramme ombrothermique de la ville de Tlemcen

#### III-5-2- Le Quotient Pluviométrique d'EMBERGER

Le climat gramme d'EMBERGER (1955) permet de définir l'étagement d'une station à l'aide de la formule suivante :

$$Q2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

La formule est parfois adaptée sous la forme suivante (formule de Stewart, 1969) :

$$Q2 = 3,34P / M - m$$

Dont : **P** : précipitations annuelles (mm)

**M** : température maximale du mois le plus chaud

**m** : température minimale du mois le plus froid

Le tableau suivant présente les valeurs qu'on a trouvé en utilisant cette formule :

<b>Zone d'étude</b>	<b>P mm</b>	<b>M C°</b>	<b>m C°</b>	<b>Q2</b>	<b>Etage climatique</b>
<b>Ville de Tlemcen</b>	<b>343,58</b>	<b>24.31</b>	<b>12 .02</b>	<b>93,37</b>	<b>Etage semi-aride</b>

**Tableau N° 08** : caractères bioclimatique de la ville de Tlemcen

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

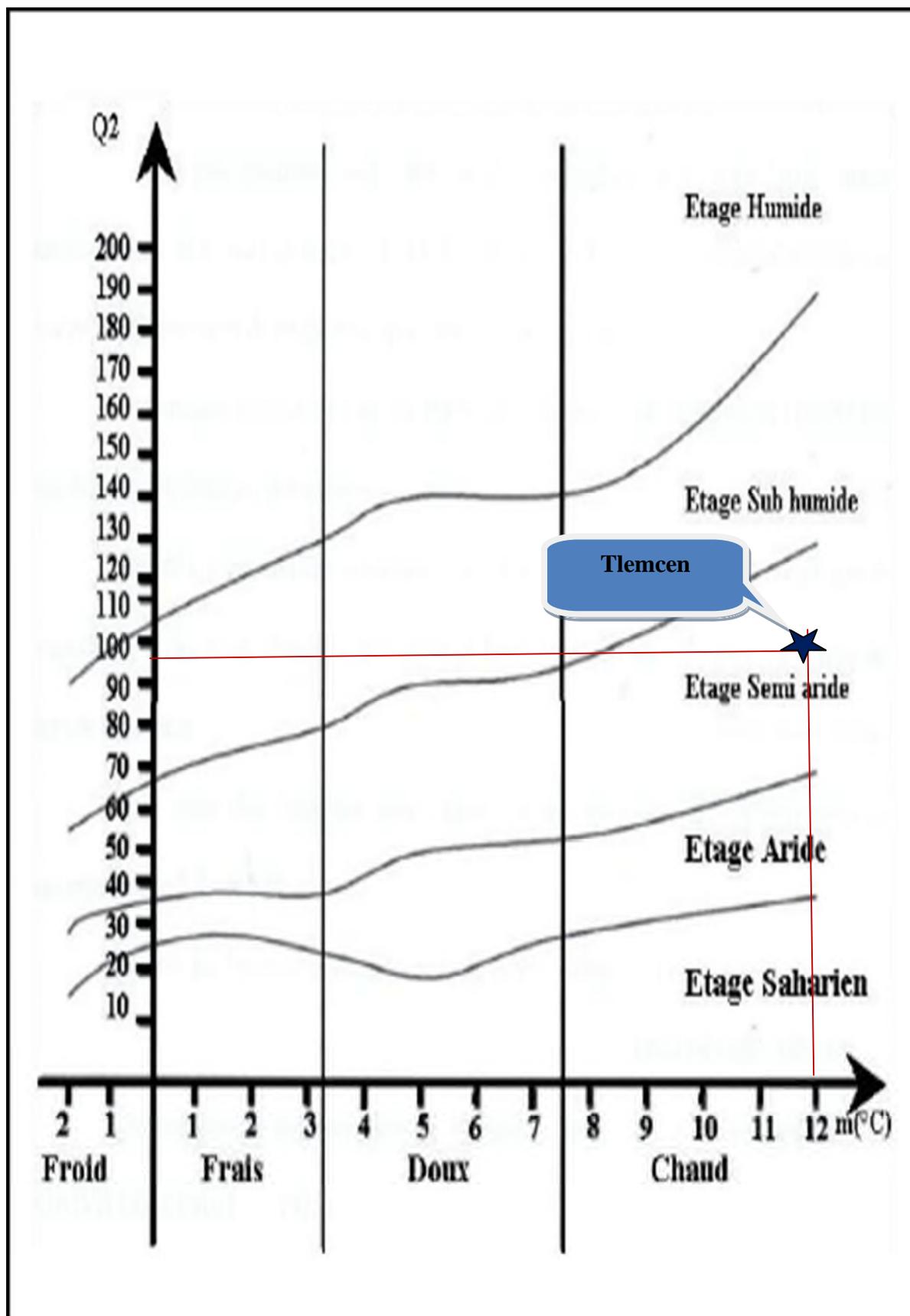


Figure N° 07 : Quotient pluviothermique d'EMBERGER

#### IV- Le cadre humain

En terme de poids démographique, le groupement urbain Tlemcen, Mansourah, Chetouane occupait en 1998, le 12<sup>ème</sup> rang dans la hiérarchie urbaine nationale avec 154000 habitants, il se classe respectivement derrière Alger, Oran, Constantine, Annaba, Sétif, Blida, Sidi Bel Abbés, Batna, Chlef, Skikda et Biskra. Il occupait respectivement la 6<sup>ème</sup> place en 1966, puis la 10<sup>ème</sup> place en 1977(PDAU, 2011).

Le tableau suivant représente l'évolution de population au niveau de la ville de Tlemcen Par dispersion (1966-1998) :

Dispersion	1966	1977	T.A.G. 66/77	1987	T.A.G. 77/87	1998	T.A.G. 87/98
<b>Total Groupement</b>	<b>93435</b>	<b>125546</b>	<b>2,76 %</b>	<b>167079</b>	<b>3,77 %</b>	<b>216843</b>	<b>2,33 %</b>

**Tableau N° 09** : l'évolution de population au niveau de la ville de Tlemcen Par dispersion (1966-1998) (Source : ONS, RGPH 1966, 1977, 1987 et 1998)

- En 2008 : 238 900 habitants
- Estimation 2015 : 302 000 habitants.

#### V- Réseau routier

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

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
<b>TOTAL</b>	<b>52,372</b>	<b>7</b>	<b>/</b>

**Tableau N° 10** : Le réseau routier du groupement Tlemcen - Mansourah - Chetouane

Source : Direction des travaux publics)

Les trois communes, disposent d'un linéaire de routes nationales de 53 Km, réparti comme suit :

- ✓ 51 % pour la commune de Tlemcen,
- ✓ 32 % pour la commune de Mansourah,
- ✓ 17 % pour la commune de Chetouane.

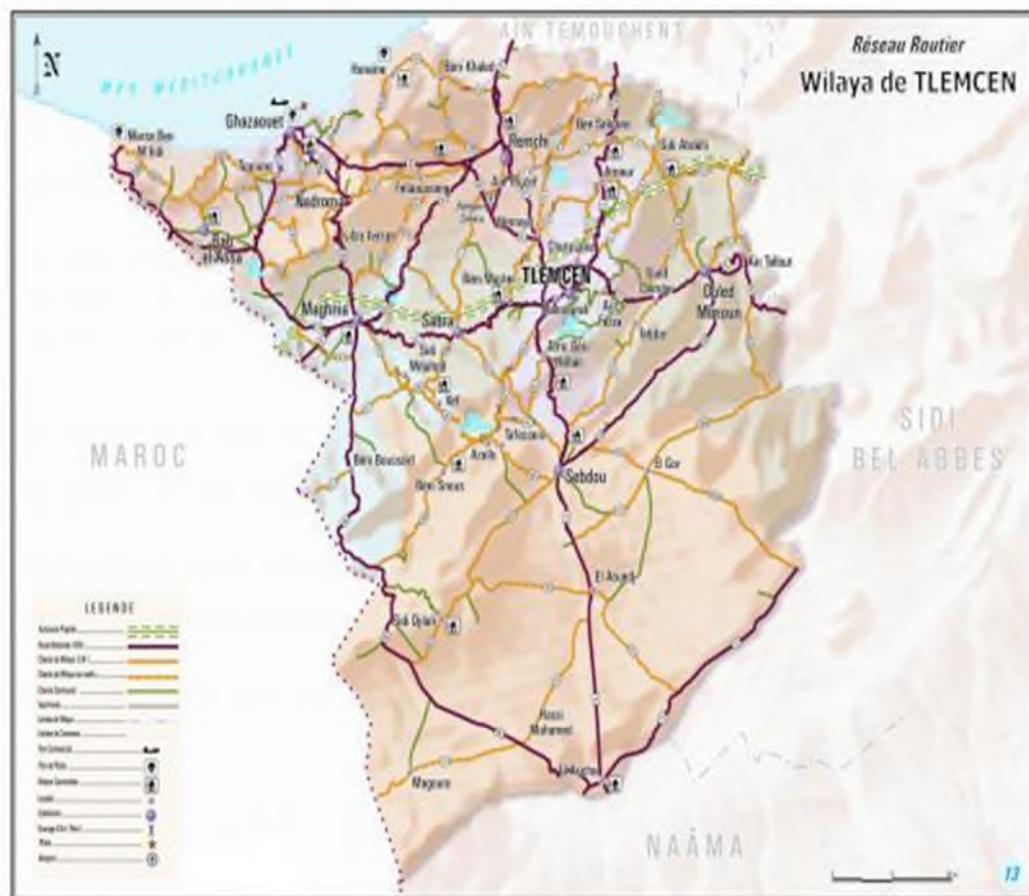


Figure N° 08 : Réseau routier de la wilaya de Tlemcen

## VI- Parc Automobile

Le parc automobile de la wilaya de Tlemcen est estimé à environ 133000 véhicules légers, camionnettes, auto cars, lourds et autres. En effet, le parc au niveau de cette wilaya,

comme tout l'ensemble du territoire algérien a doublé de volume pendant la dernière décennie à cause de plusieurs facteurs économiques et sociaux.

Le tableau suivant représente la Répartition du parc automobile par catégorie au niveau de Wilaya de Tlemcen :

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

**Tableau N° 11** : Répartition du parc automobile par catégorie  
Wilaya de Tlemcen (Source : Direction de transport et estimation ANAT)

**I- Le choix des stations**

Pour la transplantation des échantillons, on a procédé à un maillage de la ville de Tlemcen. Cette technique consiste à découper la ville en mailles et dans chaque intersection de mailles on transplante quelques échantillons (maillage du territoire de 0,5 x 0,5 km) (Garrec, Van Haluwyn, 1981). Le total des stations choisies est de 29 stations.

Le tableau suivant représente les stations choisies :

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

**Tableau N°12 : les stations choisies pour l'étude**

## **II- Le matériel utilisé**

Le matériel utilisé dans notre travail et le suivant :

- **Sur le terrain**

Des sacs en papiers pour récolter les échantillons

- **Au laboratoire**

- **L'appareillage**

Bain de sable

Etuve : Heraeus instruments

Four : Heraeus instruments

Broyeur

Spectromètre à absorption atomique : AA700 PERKIN ELMER

Verrerie : pipettes, entonnoirs, éprouvettes, boîtes de pétri.

Autre matériel : spatules, capsules en quartz

- **Produits chimiques**

Eau distillée

Acides : acide fluorhydrique (HF), acide perchlorique (CLHO<sub>4</sub>), acide nitrique (HNO<sub>3</sub>).

Solutions étalons : ZnS, N O<sub>6</sub> 4H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Pb, Cu O<sub>4</sub> S<sub>5</sub> H<sub>2</sub>O.

## **III- Méthode de travail**

### **III-1- Transplantation lichénique de *Xanthoria Parietina* et *Parmelia sulcata***

Les espèces *Xanthoria parietina* et *Parmelia sulcata*, ramenées du parc national de Theniet Al Had, ont été transplantées dans les différentes stations choisies par maillage de la ville de Tlemcen. Il faut noter que le *Xanthoria parietina* et la *Parmelia sulcata* sont des espèces abondantes dans la région du parc, c'est pour cela qu'on les a choisi en tant que bio-indicatrices de pollution.

Pour avoir des résultats fiables, on a utilisé des échantillons de lichens témoins pour servir de référence. Ces témoins vont être comparés avec les échantillons contaminés de métaux lourds.

Les échantillons ont été transplantés dans les stations choisies par maillage, soit 40 échantillons. Les lichens ont été fixés sur les troncs des arbres à 1,30m. La récupération des échantillons était faite après un mois (du 5 février jusqu'au 5 avril 2015).

### **III-2- Prélèvement des échantillons**

A fin d'éviter toute sorte de contamination ou de perte, on évite d'utiliser des outils ou des récipients qui peuvent contaminer nos échantillons (inox ou acier). Les échantillons sont récoltés, immatriculés et transportés dans des sacs en papiers afin d'éviter la contamination des lichens.

### **III-3- Traitement des échantillons**

Pour doser les échantillons prélevés on a suivi les étapes suivantes :

- **Déshydratation**

Cette étape consiste à déshydrater les thalles de lichens 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.

- **Broyage**

Le broyage des thalles est une étape très délicate car il se peut que les thalles subissent 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° 09 : Broyage des lichens

- **Calcination**

La poudre obtenue est calcinée, à l'aide de capsules en quartz, dans un four à 500°C pendant 3 heures.

- **Minéralisation et mise en solution**

La poudre obtenue après calcination est attaquée par 3 acides différents :

- **L'acide fluorhydrique HF** : pour 1g d'échantillon obtenu on ajoute 5ml d'acide fluorhydrique et on met le mélange dans un bain de sable jusqu'à évaporation ;
- **L'acide perchlorique  $ClHO_4$**  : on ajoute 3ml d'acide perchlorique sur la solution abstenue après évaporation. On remet le mélange 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° 10:** évaporation des échantillons dans le bain de sable

➤ **La mise en solution**

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



**Figure N° 11 :** Mise en solution des échantillons

### **III-4- Préparation des solutions étalons**

Pour chaque métal, on a préparé la solution étalon qui lui convient dont les standards sont les suivants :

**Zn:** ZnS : 2mg/l

**Cd:** N2O6 4H2O :2mg/l

**Pb:** N2O4 Pb 20mg/l

**Cu:** Cu O4 S5 H2O: 5mg/l

### **III-5- Dosage par spectrométrie à absorption atomique**

Au début, les différents standards vont être passés à travers le spectrophotomètre. A chaque concentration correspond une absorbance et l'ordinateur trace la courbe. A partir de cette courbe, l'ordinateur donne par lecture, après mesure de l'absorbance de chaque échantillon, la concentration du métal étudié dans la solution préparée (en mg /L)

## I- Résultats et discussions

Compte tenu du manque de moyens matériels, on s'est limité à doser uniquement quelques éléments traces métalliques (ETM) en l'occurrence le zinc, le cuivre, le Plomb et le cadmium. Demême les analyses ont porté seulement sur quatorze (14) échantillons transplantés et deux (02) échantillons témoins sur un ensemble de 50 échantillons. Les dosages ont été effectués au niveau du laboratoire de physique de l'université (USTHB) de Bab Zouar.

### I-1-Résultats obtenus

Le tableau N° 13 présente les résultats des dosages obtenus pour chaque station. A l'aide des valeurs d'absorbance obtenues, on a calculé la concentration de chaque élément au niveau de chaque station.

**Tableau N° 13 :** Les résultats du dosage des ETM dans les différentes

Stations de la Ville de Tlemcen

	Zinc		Cuivre		Plomb		Cadmium	
<b>Longueur d'onde (nm)</b>	213,9		324,8		283,3		228, 3	
<b>Absorption des solutions étalons</b>	0,032		0,057		0,087		0,007	
<b>Echantillons</b>	<b>Abs</b>	<b>C(mg/l)</b>	<b>Abs</b>	<b>C(mg/l)</b>	<b>Abs</b>	<b>C(mg/l)</b>	<b>Abs</b>	<b>C(mg/l)</b>
Rondpoint Koudia	1,016	42,62	0,041	0,91	0,033	4,74	0,003	00
Jardin station de service Abou Tachfine	1,369	57,42	0,124	2,76	0,060	8,63	0,004	00
Jardin station de Taxis Oran	/	/	/	/	/	/	/	/
BabOuahrane, direction DTP	/	/	/	/	/	/	/	/
Jardin direction de l'éducation	0,930	39,01	0,018	0,40	0,041	5,89	0,004	00
Lycée Benzerdjeb	/	/	/	/	/	/	/	/
Terrain de jeux école des cadets	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint hôtel les Zianides	/	/	/	/	/	/	/	/
Jardin station de taxis Sidi Bel Abbas	1,512	63,42	0,156	3,47	0,070	10,06	0,004	00
Rondpoint stade Akid Lotfi	1,288	54,03	0,058	1,29	0,034	4,88	0,002	00
Rondpoint cité	/	/	/	/	/	/	/	/

Djibouti								
Lycée Commandant Ferradj	1,501	62,96	0,022	0,49	0,085	12,22	0,002	00
Carrefour hôpital TidjaniDamardji	1,540	64,60	0,053	1,18	0,049	7,04	0,003	00
Rondpoint cité Mansourah	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint cité universitaire de jeunes filles	/	/	/	/	/	/	/	/
Carrefour ITMA	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint station de services Ouahiani	/	/	/	/	/	/	/	/
Accès université de Tlemcen	X :1,152 P :1,518	48,32 63,95	X :0,075 P :0,108	1,671 2,40	X :0,045 P :0,076	6,47 10,92	0,003	00
Rondpoint accès Abou Tachfine	0,977	38,21	0,049	1,09	0,044	6,32	0,003	00
Accès pôle universitaire de Chetouane	1,412	59,23	0,108	2,40	0,162	23,29	0,003	00
Rondpoint accès Chetouane	P :1,236 X :1,335	51,85 56,003	P :0,104 X :0,048	2,31 1,06	P :0,070 X :0,040	10,06 5,75	0,003	00
Zone industrielle, desserte N° 6	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint Sidi Said	/	/	/	/	/	/	/	/
Siege APC de Tlemcen	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint Cité Makhokh	/	/	/	/	/	/	/	/
Accès siège daïra Mansourah	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint accès cité Imama	1,634	68,54	0,060	1,33	0,045	6,47	0,003	00
Rondpoint cité OPGI	/	/	/	/	/	/	/	/
Rondpoint cité Kiffane	/	/	/	/	/	/	/	/
<b>Échantillon témoin X</b>	0,930	39,01	00	00	0,037	5,32	0,003	00
<b>Échantillon témoin P</b>	1,130	47,40	00	00	0,008	1,15	0,002	00

Dans le tableau précédant on constate que les concentrations du Zinc sont très élevées par rapport aux autres éléments dosés et cela est observé même dans les échantillons témoins. Par contre, le Cadmium est absent dans toutes les stations. Aussi, le cuivre et le plomb varient de concentration d'une station à l'autre.

Le tableau N° 14 présente les résultats des concentrations de Zn, Cu et Pb par espèce de Lichen :

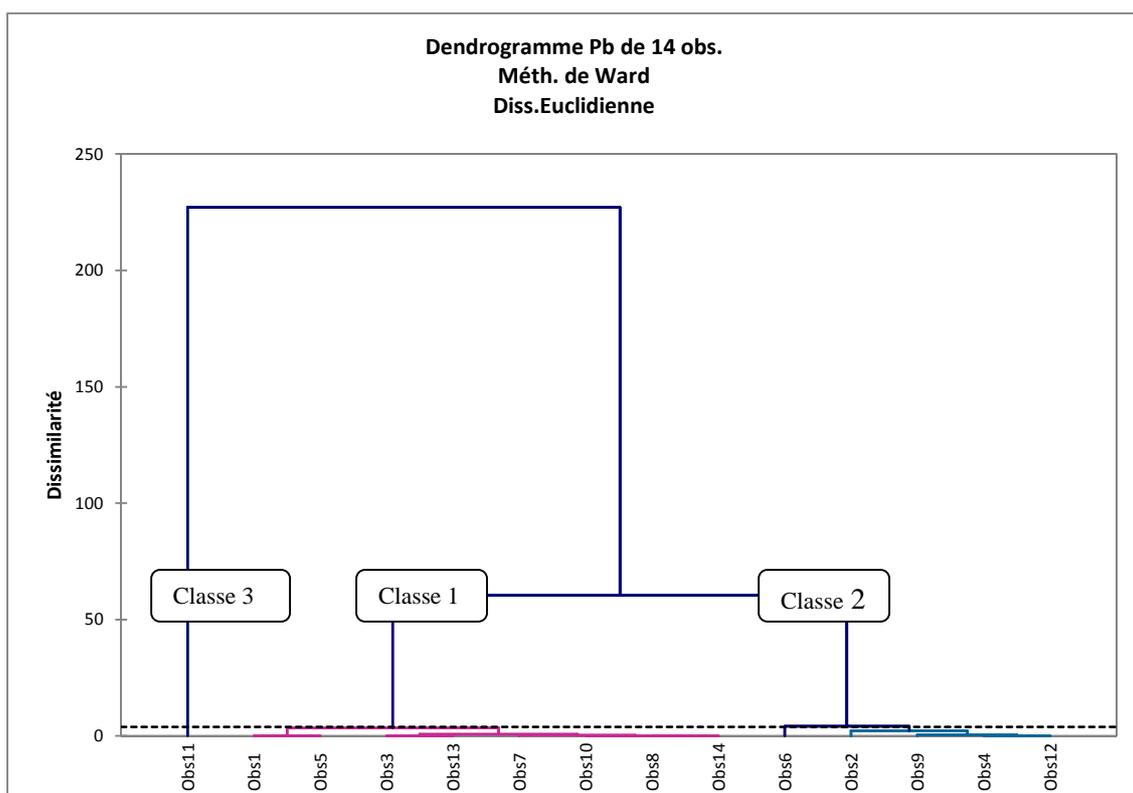
**Tableau N°14** : les concentrations en Zn, Cu et Pb par espèce*(Xanthoria parietina et Parmelia sulcata).*

Espèce	Echantillon	Zinc (mg/l)	Cuivre (mg/l)	Plomb (mg/l)
<b>Xanthoria parietina</b>	X1	42,62	0,91	4,74
	X2	57,42	2,76	8,63
	X13	64,60	1,18	7,04
	X18	48,32	1,671	10,06
	X20	59,23	2,40	23,29
	X21	56,003	1,06	5,75
<b>Parmelia sulcata</b>	P5	39,01	0,40	5,89
	P9	63,42	3,47	10,06
	P10	54,03	1,29	4,88
	P12	62,96	0,49	12,22
	P18	63,95	2,40	10,92
	P19	38,21	1,09	6,32
	P21	51,85	2,31	10,06
	P27	68,54	1,33	6,47
<b>Témoin Parmelia</b>	TP	47,40	00	1,15
<b>Témoin Xanthoria</b>	TX	39,01	00	5,32

**Remarque** : En observant les échantillons provenant de la même station (cas des échantillons X18, P10 et X21, P21), on remarque que le *Parmelia sulcata* accumule plus de plomb et de cuivre que la *Xanthoria parietina* dans les deux stations.

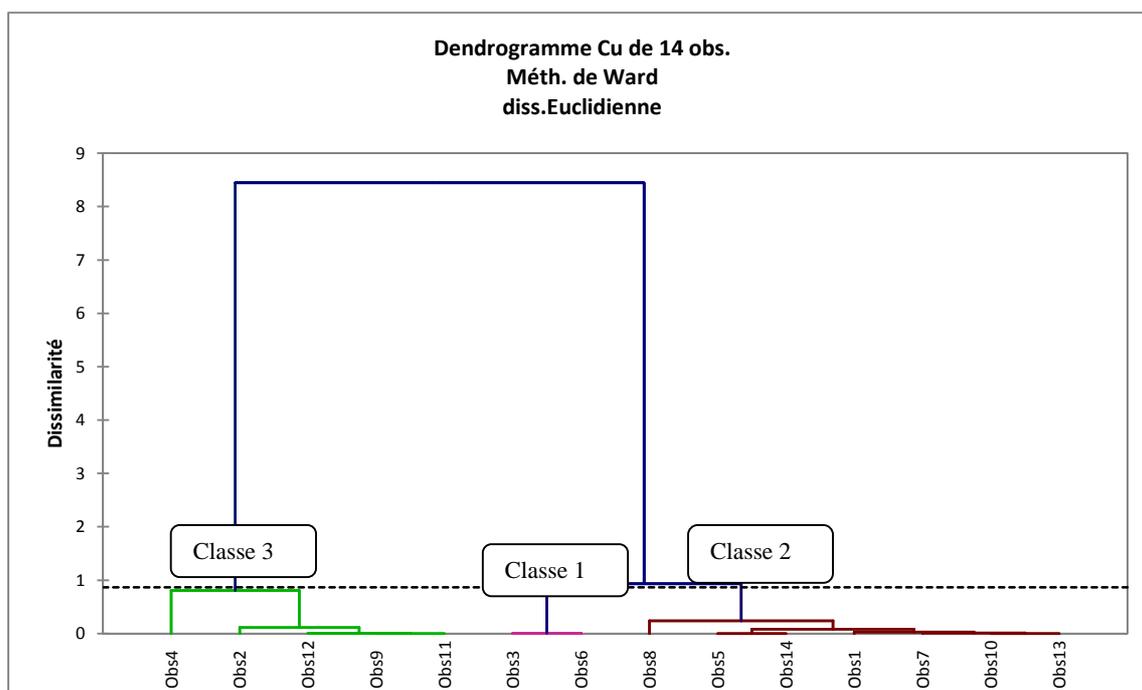
### I-2- Représentation graphique des résultats

Les données de concentrations obtenues pour chaque élément sont classées automatiquement afin d'obtenir des groupes de concentrations qui se ressemblent le plus entre elles. Les résultats de cette classification sont illustrés dans les figures suivantes :



**Figure N° 12 :** Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le plomb (Pb) au niveau de la ville de Tlemcen

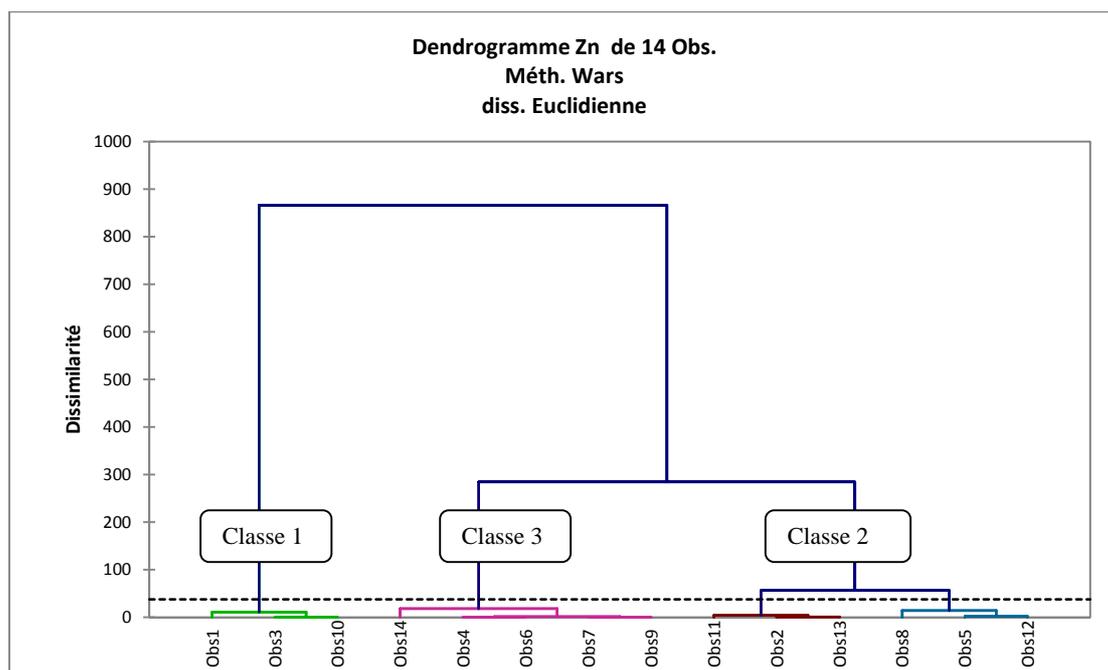
Après la lecture de la figure 12, nous constatons que la classe 1 regroupe les stations les moins polluées en plomb ; il s'agit des stations suivantes : Rondpoint Koudia, Rondpoint stade Akid Lotfi, Carrefour hôpital TidjaniDamardji, Rondpoint accès Abou Tachfine, Rondpoint accès cité Imama. La classe 2 s'agit des stations modérément polluées ; il s'agit de : Lycée Commandant Ferradj, Jardin station de service Abou Tachfine, Accès université de Tlemcen, Jardin station de taxis Sidi Bel Abbès et Rondpoint accès Chetouane. Par contre, la Classe 3 représente les stations les plus polluées en plomb : Accès pôle universitaire de Chetouane.



**Figure N° 13 :** Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le cuivre (Cu) au niveau de la ville de Tlemcen

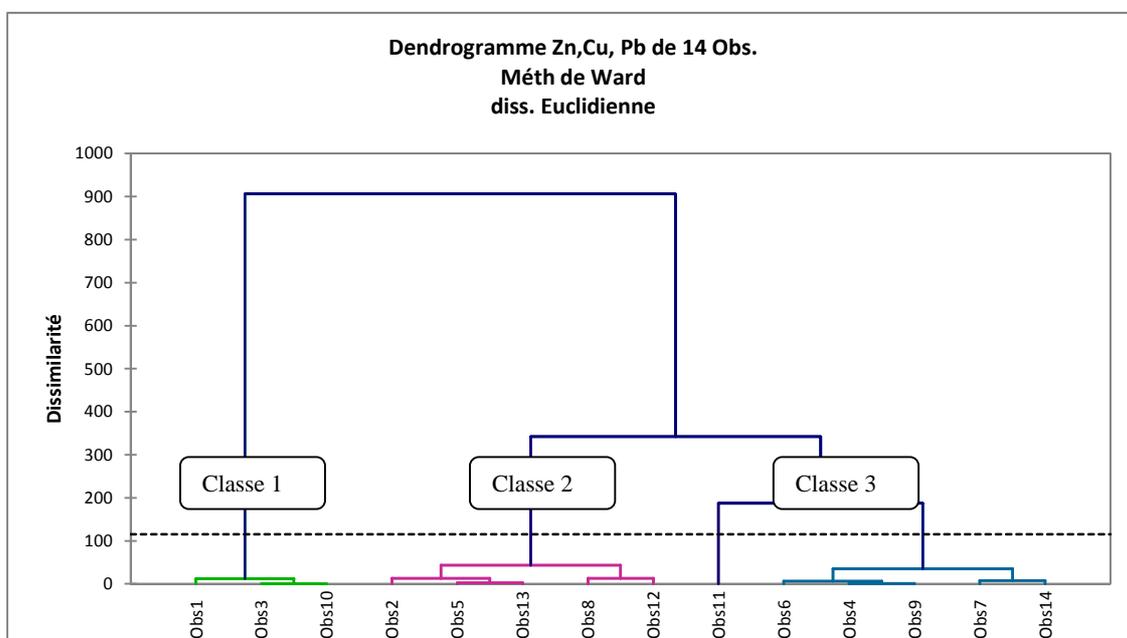
La lecture de la figure 13 nous donne les résultats suivants : La classe 1 regroupe les stations de Jardin direction de l'éducation et Lycée Commandant Ferradj. Ces deux stations sont les moins polluées en cuivre. La classe 2 s'agit des stations modérément polluées : Rondpoint stade AkidLotfi, Rondpoint accès cité Imama, Rondpoint Koudia, Carrefour hôpital TidjaniDamardjiet Rondpoint accès Abou Tachfine. La classe 3 des stations les plus polluées encuivre : Jardin station de taxis Sidi Bel Abbes, Jardin station de service Abou Tachfine, Rondpoint accès Chetouane, Accès université de Tlemcen et Accès pôle universitaire de Chetouane.

L'observation de la figure 14 concernant la pollution en Zinc donne les résultats suivant : classe 1, concernant les stations les moins pollués en Zinc, rassemble les stations suivantes : Rondpoint Koudia, Jardin direction de l'éducation et Rondpoint accès Abou Tachfine. La classe 2 regroupe : Accès pôle universitaire de Chetouane, Jardin station de service Abou Tachfine, Rondpoint accès Chetouane, Rondpoint stade Akid Lotfi. Par contre la classe 3 représente les stations les plus polluées en Zinc : Rondpoint accès cité Imama, Jardin station de taxis Sidi Bel Abbes, Lycée Commandant Ferradj, Carrefour hôpital TidjaniDamardji et Accès université de Tlemcen :



**Figure N°14 :** Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le zinc (Zn) dans la ville de Tlemcen

La figure suivante représente la classification graphique de la pollution en zinc (Zn), plomb (Pb) et cuivre (Cu) dans la ville de Tlemcen :



**Figure N° 15 :** Représentation graphique de la classification automatique de la pollution par le zinc (Zn), le plomb (Pb) et le cuivre (Cu) dans la ville de Tlemcen

A partir de la figure 15, on déduit que la classe 1 comporte les sites qui se trouvent en périphérie, tandis que la classe 2 rassemble les sites à faible activité routière par rapport à la classe 3 qui regroupe les sites dits chauds. Ces sites chauds se trouvent à proximité des axes routiers à forte circulation.

### I- 3- Analyse descriptive des résultats obtenus

Les tableaux suivants englobent les données statistiques descriptives des différentes classes pour chaque élément trace métallique avec les témoins :

**Tableau N °15 :** Statistiques descriptives des différentes classes de concentration en (Pb) avec les témoins

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 <sup>ere</sup> Q	3 <sup>eme</sup> Q	Ecart-type
<b>Classe 1</b>	8	5,945	6,105	4,74	7,04	5,5325	6,47	0,80340347
<b>Classe 2</b>	5	10,378	10,06	8,63	12,22	10,06	10,92	1,31761906
<b>Classe 3</b>	1	23,29	23,29	23,29	23,29	23,29	23,29	23,29
<b>Témoins</b>	2	3,235	3,235	1,15	5,32	2,1925	4,2775	2,94863528

**Tableau 16 :** Statistiques descriptives des différentes classes de concentration en zinc(Zn) avec les témoins

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 <sup>ere</sup> Q	3 <sup>eme</sup> Q	Ecart-type
<b>Classe 1</b>	3	39,9466667	39,01	38,21	42,62	38,61	40,815	2,34947512
<b>Classe 2</b>	6	54,4755	55,0165	48,32	59,23	52,395	57,06575	3,9646061
<b>Classe 3</b>	5	64,694	63,95	62,96	68,54	63,42	64,6	2,2351689
<b>Témoins</b>	2	43,205	43,205	39,01	47,4	41,1075	45,3025	5,93262589

**Tableau 17** : Statistiques descriptives des différentes classes de concentration  
du cuivre(Cu)avec les témoins

	N	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	1 <sup>ere</sup> Q	3 <sup>eme</sup> Q	Ecart-type
<b>Classe 1</b>	2	0,445	0,445	0,4	0,49	0,4225	0,4675	0,06363961
<b>Classe 2</b>	7	1,21871429	1,18	0,91	1,671	1,075	1,31	0,24514942
<b>Classe 3</b>	5	2,668	2,4	2,31	3,47	2,4	2,76	0,48048933
<b>Témoins</b>	2	0	0	0	0	0	0	0

Les concentrations en plomb, zinc et cuivre sont présentées sous forme de classes de pollution, définies par une classification automatique, dans les tableaux 15, 16 et 17. La lecture des tableaux permet de déduire ce qui suit :

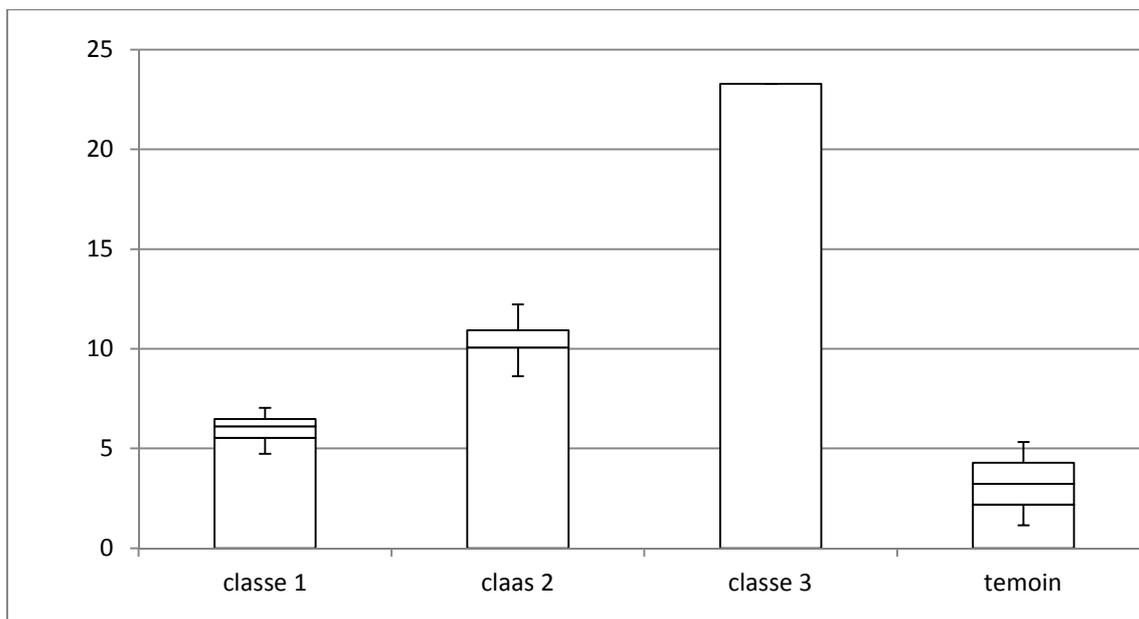
- Les valeurs moyennes, pour l'ensemble des classes, varient de :
  - ✓ 5,945mg/l (avec des valeurs extrêmes de 4,74 à 7,04 mg/l) à 23,29 mg/l pour le plomb ;
  - ✓ 39,94mg/l (avec des valeurs extrêmes de 38,21 à 42,62 mg/l) à 64,694mg/l (avec des valeurs extrêmes de 62,96 à 68,54 mg/l) pour le zinc ;
  - ✓ 0,445 mg/l (avec des valeurs extrêmes de 0,4 à 0,49 mg/l) à 2,668mg/l (avec des valeurs extrêmes de 2,31 à 3,47mg/l) pour le cuivre.
- Les fortes concentrations en plomb, cuivre et zinc sont enregistrées dans la classe 3, les valeurs maximales peuvent atteindre 23,29 mg/l pour le plomb, 68,54 mg/l pour le zinc et 3,47mg/l pour le cuivre. Cette classe, appelée classe chaude, regroupe les sites les plus pollués associés à un trafic routier très élevé soumis à une forte pente avec une fréquence de freinage et de ralenti très grande.les valeurs élevées du Cu et Zn mesurées dans les échantillons ne sont probablement pas seulement dues à des sources communes telles que les flux de trafic, mais aussi au processus d'abrasion causé par les pneus (Giordano et al. 2005).
- En dehors de la combustion des carburants, d'autres activités routières telles que les pneus de voitures et les plaquettes de freins véhiculent les polluants le long de la route.

Selon Ward (1989). Ces activités libèrent des métaux tels que Ni, Cu et Cd. Ces derniers sont utilisés dans les huiles et placage de voiture en métal, lubrification et, de ce fait, pourraient contribuer en grande partie à la pollution routière.

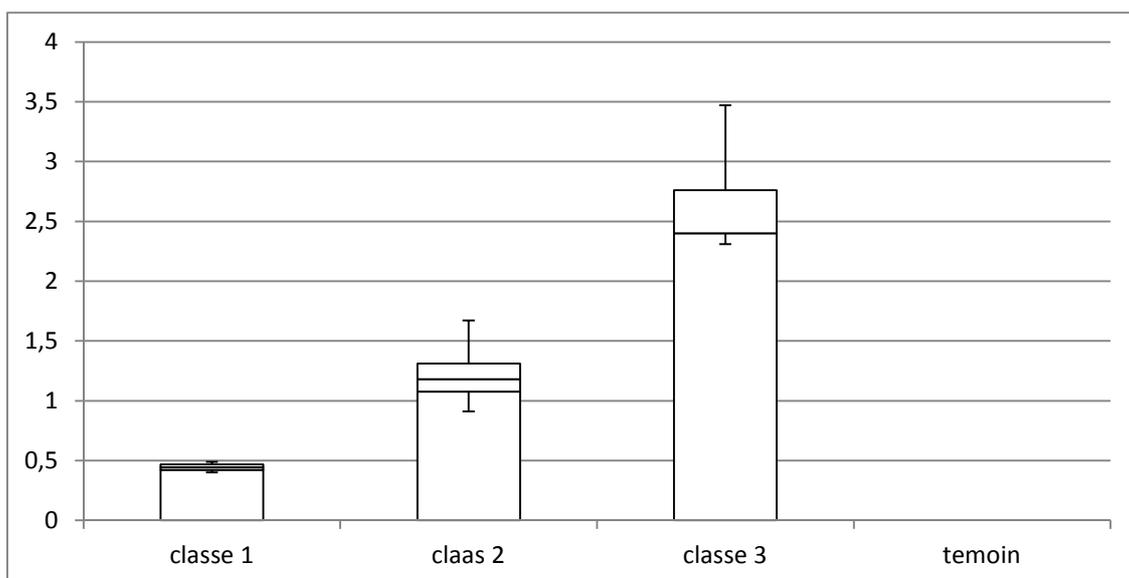
- Les classes 2 regroupent, d'une façon régressive, les sites où les émissions en plomb, zinc et cuivre sont moins importantes que dans les sites des classes 3.
- Les faibles concentrations sont présentes dans les classes 1 avec des valeurs moyennes de 5,945 mg/l pour le plomb, 39,9466667 mg/l pour le zinc et 0,445 mg/l pour le cuivre. Mais ces concentrations restent toujours plus élevées que celles des échantillons témoins. Les classes 1 représentent les sites où le trafic routier est relativement moins important que celui des classes 3 et 2.

#### I-4- Représentation graphique en Box Plot

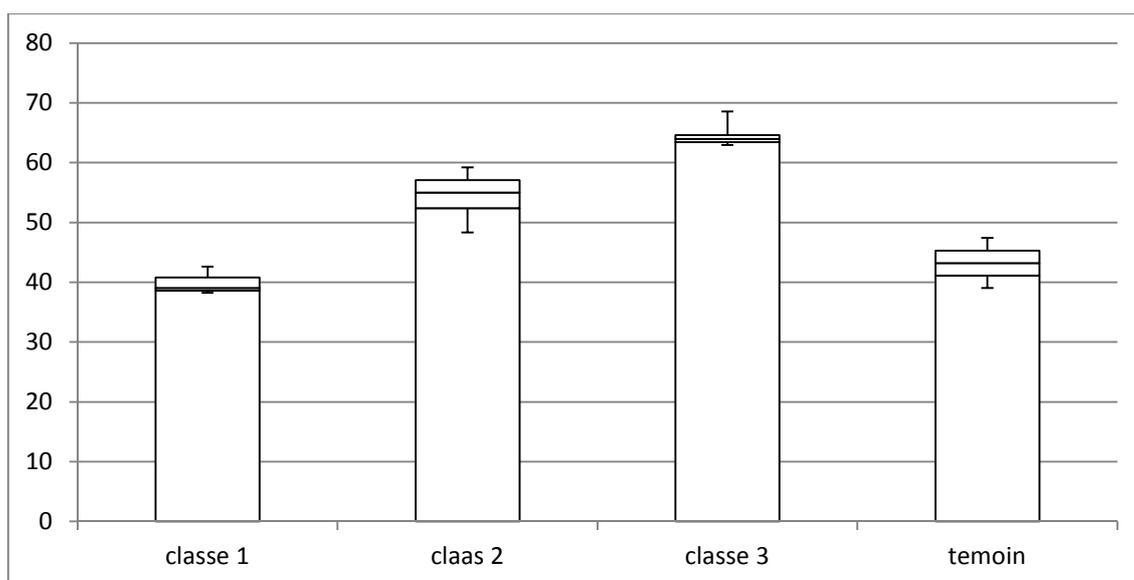
Les présentations qui suivent consistent à comparer les trois classes de pollution pour chaque élément avec les témoins :



**Figure N° 16** : Représentation graphique en Box plots des teneurs en plomb (Pb)



**Figure N° 17 :** Représentation graphique en Box plots des teneurs en cuivre (Cu)



**Figure N°18 :** Représentation graphique en Box plots des teneurs en zinc (Zn)

En analysant la représentation graphique en Box plots (figures 16, 17 et 18), on constate que les 3 classes trouvées dépassent largement les valeurs des témoins en termes de concentrations de plomb (figure 16). La valeur maximale du plomb se trouve dans la classe 3 où elle atteint 23,29 mg/l. Ce taux élevé de plomb s'explique par le fait que l'essence plombée est jusqu'à maintenant utilisée dans notre pays et que le plomb est considéré l'un des indicateurs majeurs de pollution issue du trafic routier.

Dans la figure 17, on constate que la teneur en cuivre dans les échantillons témoins est nulle. Par contre la teneur en zinc dans les témoins est très élevée et dépasse les concentrations de la classe 1. Les valeurs maximales du cuivre et zinc se trouvent dans la classe 3 ou elles atteignent respectivement 3,47mg/l pour le cuivre et 68,54 mg/l pour le Zinc. Ces valeurs élevées de Zinc et de cuivre sont issues des activités routières telles que les pneus de voitures et les plaquettes de frein véhiculent les polluants le long de la route (Ward, 1989). D'autre part, La concentration de zinc dans les échantillons atteint une valeur maximale de 47,4 mg/l.

## CONCLUSION

Le présent travail a été réalisé afin d'estimer les concentrations des ETM, spécialement le plomb, zinc, cuivre et cadmium, d'origine routière au niveau de la ville de Tlemcen (l'extrême ouest de l'Algérie). Les ETM ont été dosés sur 45 échantillons de lichens : *Xanthoria perietina* et *Parmelia sulcata*. Les échantillons ont été transplantés dans des différents sites localisés à proximité des axes routiers ainsi qu'au centre de la ville.

La classification automatique des concentrations a permis de distinguer trois 3 différentes classes de pollution dont les valeurs de concentration en plomb, zinc et cuivre varient respectivement pour chaque élément entre : 4,74 à 23,29 mg/l pour le plomb, 38,2 à 68,54 mg/l pour le zinc et 0,4 à 3,47mg/l pour le cuivre, tandis que les concentrations en Cadmium étaient nulles. Ces valeurs de concentrations trouvées dépassent largement le taux de concentration dans les échantillons témoins : 3,235 mg/l pour le plomb, 43,205 mg/l pour le Zinc et 0 mg/l pour le cuivre.

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

Notre travail, ainsi que d'autres études, nous démontre l'affinité élevée des lichens d'accumuler les polluants atmosphériques. Cet aspect bio-accumulateur des lichens permet d'établir une carte des différents dépôts élémentaires et la localisation des sources de métaux. En fait, la bio-indication de la pollution par les lichens est présumée être une méthode, simple, souple et économique avec des résultats assez impressionnants pour établir des cartographies de pollution au niveau urbain. De plus, l'identification de la pollution au sein des organismes sensibles permet de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

## Conclusion

De nos jours, l'explosion démographique des villes, le progrès de l'industrie ainsi que la croissance du parc automobile accélèrent le taux de pollution en Algérie. Pour cela, notre étude confirme la nécessité de maîtriser le parc automobile et de réduire les émissions des polluants issus du trafic routier par le renouvellement du parc automobile, l'amélioration du réglage des moteurs et l'utilisation de carburants moins polluants.

## Résumé

Notre travail a été réalisé afin d'estimer les concentrations des ETM, spécialement le plomb, zinc, cuivre et cadmium, d'origine routière au niveau de la ville de Tlemcen (l'extrême ouest de l'Algérie), en utilisant comme bio-indicateurs deux espèces de lichens, Le *Xanthoria parietina* et la *Parmelia sulcata*, transplantées dans des différents sites à travers la ville.

L'observation des données a permis de définir 3 classes de pollution atmosphérique dont la classe dominante présente une pollution élevée issue du trafic routier.

**Mot clés :** la pollution atmosphérique, ETM, lichens, bio-indication, trafic routier

## الملخص

الهدف من دراستنا هو تحديد نسبة تركيز المعادن الثقيلة التي مصدرها الأساسي الحركة المرورية خاصة الرصاص، الزنك، النحاس و الكاديوم باستخدام الأشنات من نوع *Xanthoria parietina* و *Parmelia sulcata* كمؤشرات حيوية وهذا على مستوى مدينة تلمسان (أقصى غرب الجزائر).

النتائج المتحصل عليها سمحت بتحديد ثلاث درجات للتلوث الجوي الناتج عن الحركة المرورية الكثيفة في الطرقات.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث الجوي، المعادن الثقيلة، الأشنات، مؤشرات حيوية، الحركة المرورية

## Summary

The aim of our study is to estimate the level of concentrations of heavy metals originated from roadsides, especially lead, zinc, copper and cadmium, using as bio-indicators lichens of *Xanthoria parietina* and *Parmelia sulcata*. The latter were transplanted in different sites of the city of Tlemcen (extreme western Algeria).

The observation of data helped to define 3 classes of atmospheric pollution from which the dominant class has the highest end road traffic pollution

**Keywords:** atmospheric pollution, heavy metals, lichens, bio-indicators, road traffic

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### A

**ASTA, J. ET GARREC, J.P., 1980.** Etude de l'accumulation du fluor dans les lichens d'une vallée alpine polluée. *Env. Poll.*, 212, 67-286.

### B

**BARGAGLI, R., IOSCO, F.F. ET LEONZIO, C., 1985.** *Inquinamento.*, 27,33-73p. In Bargagli. 1993.

**BARGAGLI, R., 1998.** Trace elements in terrestrial plants. An *Eco-Physiological Approach to Bio monitoring and Biorecovery*, Springer, Berlin.

**BARGAGLI, R., MONACI, F., BORGHINI, F., BRAVI, F., AGNORELLI, C., 2002.** Mosses and lichens as bio monitors of trace metals: A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy. *Environmental pollution* 116, 279- 287.

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

### D

**DELFOSSÉ P., DELPORTE A., 2006.** Projet de diagnostic et de cartographie de la pollution de l'air : « AI-JE L'AIR MALADE ? ». L'équipe pédagogique du CDPA la Roseraie 7600 Peruwelz. P : 32

**DELEZENNE-VAN HALUWYN, C., 1973.** *Contribution à l'étude de la distribution des lichens épiphytes dans le nord de la France: application au problème de la pollution atmosphérique.* Thèse Doctorat Pharmacie, Université de Lille II, 162p.

**Derache, r., 1986.** *Toxicologie et sécurité des aliments.* Paris, APRIA, pp: 159 – 198

## ***F***

**FINLAYSON-PITTS B. J., PITTS J. N. 2000.** *Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, experiments, and applications.* Academic Press, Orlando, Florida (USA). 994 p.

## ***G***

**GARNIER, R., 2005.** *Toxicité du plomb et de ses dérivés.* EMC - Toxicologie Pathologie, pp : 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.

**GIORDANO, S., ADAMO, P., SORBO, S., & VINGIANI, S. 2005.** Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags. *Environmental Pollution*, 136, 431–442.

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

## ***H***

**Haryanto B., 2012.** air pollution – a comprehensive perspective. *Janeza Trdine 9*, 51000 Rijeka, Croatia. 12p.

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

**HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L., URECH, M., AMMANN, K., CUECHEVA, M. ET LANDOLT, W., 1989.** Passive biomonitoring with lichens as a part of an integrated biological measuring system for monitoring air pollution in Switzerland. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 35, 43-57.

## **K**

**KOLLER, E., 2004.** Traitement des pollutions industrielles : Eau - Air - Déchets - Sols Boues. Dunod.Paris.

## **L**

**LACAZE, J. C., 1993.** *La dégradation de l'environnement côtier conséquences écologiques.* Ed. Masson (Paris), 83p.

**LEE K., DO HUR 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.

**LISKA, J., 1978.** Epiphytic lichens and air pollution in the Tabor area, South Bohemia. *Proc. Crypt. Symp. SAS* , 221-230 p .

**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.

## **M**

**MARKERT B. A., BREURE A. M., ZECHMEISTER H. G., 2003.** *Bioindicators and biomonitors*. Elsevier. 1018 p.

**MASER, Z., MASER , C. ET TRAPPE, J. M., 1985.** Food habits of the northern flying squirrel (*Glaucomys sabrinus*) in Oregon. *Canadian Journal of Zoology*. 63:1084-1088. MC KEEVER, S., 1960. Food of the northern flying squirrel in northeastern californa. *Journal of mammology*, 41: 270 - 271.

**METRI A., SIDI-YAKHLEF A., BIEMONT C., SAÏDI M., CHAIF O., OURAGHI A., 2012.** A genetic study of nine populations from the region of Tlemcen in Western Algeria: a comparative analysis on the Mediterranean scale. *Anthropological Science (Japanese Series)* 01/2012; DOI:DOI: 10.1537/ase.120618 120: 209-216.

**MC CUNE, B. ET LESICA, P., 1992.** The trade-off between species capture an quantitative accuracy in ecological inventory of lichen and bryophytes in forests in Montana. *The bryologist*, 95 (3): 296-304.

## **N**

**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.

## **O**

**OKSANEN, J., TYNNYRINEN, S. ET KARENLAMP, L.1990.** Testing for increased abundance of epiphytic lichens on a local gradient. *Ann. Bot. Fennici*, 27, 301 – 307 p.

**OZENDA, P. ET CLAUZADE, G., 1970.** *Les lichens, étude biologique et flore illustrée*. Ed. Masson (Paris). 808p.

**OZENDA, P., 2000.** *Les végétaux : organisation et diversité biologique*. Ed. Masson. p.170-175.

## **P**

**PACYNA J. M., 1986.** *Atmospheric trace elements from natural and anthropogenic sources. Toxic metals in the atmosphere* p. 33-52. John Wiley and Sons, New York.

**PACYNA J. M., PACYNA 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.

**PATTERSON C. (1994)** *Anthropogenic lead isotopes in Antarctica*. Geophysical Research Letters 21: 2669-2672.

**PAUL MAC BERTHOUEX, LINFIELD C. BROWN,2013.** *Pollution Prevention and Control : Human health and environmental quality*. bookboon. USA. P12

**PEDRO G., 2007.** *Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux*. EDP Sciences. 484 p.

**PURVIS, W., PIRINTSOS, S., SCHEIDEGGER, C., VAN HALUWYN, C. AND WIRTH, V., 2002.** *Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality*. In: Nimis, P.L., SCHEIDEGGER, C., WOLSELEY, P. (EDS.), *Monitoring with Lichens e Monitoring Lichens*. Kluwer, Dordrecht, pp. 273-279.

## **R**

**ROBINSON, A. L., VITT, D. H., ET TIOMONEY, K. P., 1989.** Patterns of bryophyte and lichen distribution in relation to latitudinal and edphic gradients in the Canadian subarctic forest- t undra. *Nora Hedwigia*, 49:25-48.

**RAUCH J. N., PACYNA J. M., 2009.** *Earth's global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles.* Global Biogeochemical Cycles.23: 16 pp.

**RIZZIO, E., BERGAMASCHI, L., VALCUVIA, M.G., PROFUMO, A. ET GALLORINI, M., 2001.** Trace elements determination in lichens and in the airborne particulate matter for the evaluation of the atmospheric pollution in a region of northern Italy. *Environment International*. 26, 543-549.

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

**ROSMAN K., CHISHOLM W., BOUTRON C., CANDELONE J., SLOOF, J.E. ET WOLTERBEEK, H.TH., 1991.** National trace-element air pollution monitoring survey using epiphytic lichens. *Lichenologist* 23, 139-165.

## **S**

**SEN-SALERNO, M. ET BLAKEWAY, J., 1987.** La mousse de chêne, une base de la parfumerie. *Revue pour la science*, n°115, pp : 82-92 in Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénologie, Paris, 12 (1) : 12 - 14.

**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.

## **W**

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

**TINTOIN R. (1984).** Les aspects de tell oranais. Essai de morphologie de pays semiaride, ouvrage publié avec le concours du C.N.R.S, édit, FOUQUET.oran.606p.

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

**VAN HALUWYN, C. ET LEROND, M., 1993.** *Guide des lichens.* Ed. Lechevalier, Paris, 334p.

**VIEGI G, ET AL., 2004.** Indoor air pollution and airway disease. Int J Tuberc Lung Dis; 8:1401.

**WARD, N. I., 1989.** Multi-elemental contamination of British motorway environments. In J. P. Vernet (Ed.), Heavy metals in the environment vol. 2 (pp. 279–282). Proc. of the Int. Conference, Geneva, September 1989, CEP Consultants, Edinburgh, UK.

**WILL-WOLF, S., 1988.** Quantitative approaches to air quality studies. *Bibliotheca lichenologica*, 30: 109-140.

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