

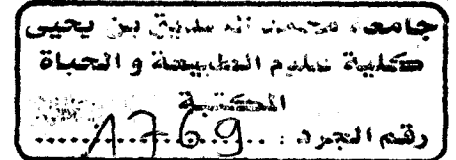
UNIVERSITÉ DE JIJEL

Faculté des Sciences exactes et des sciences  
de la nature et de la vie

Département de biologie animale et végétale



جامعة جيجل  
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة  
قسم البيولوجيا الحيوانية و النباتية



*Mémoire de fin d'étude*

En Vue de l'Obtention du Diplôme de master en toxicologie de l'environnement.

**Option :** Toxicologie de l'environnement.

*Thème :*

*Contribution à l'étude de l'impact de quelques  
polluants atmosphériques sur le comportement des  
espèces bio indicatrices (Lichens).*

**Jury :**

Président : M<sup>r</sup> Krika A.

Encadreuse : M<sup>me</sup> Lemzeri H.

Examinatrice : M<sup>elle</sup> Benterrouche I.

**Préparé par :**

Djabelkheir Soumia

Sebti Lamia

Session : Juillet 2011

## *Remerciements*

*Louange Allah, le tout puissant, qui a permis à ce travail de voir le jour.*

*M<sup>me</sup> LEMZERI, Vous nous avez toujours accueillis avec bienveillance et disponibilité, Nous vous prions de croire à l'expression de notre profond respect.*

*Mr KRIKA, vous nous avez fait le très grand honneur de bien vouloir accepter la présidence de ce jury. Tout au long de nos études, nous avons eu la chance de bénéficier de vos grandes connaissances et de votre expérience.*

*M<sup>lle</sup> BENTERROUCHE, vous avez accepté de participer à notre jury de thèse. Nous en sommes d'autant plus honorées que nous savons vos nombreuses obligations universitaires.*

*Mr ZELICHE, Directeur de la conservation des forêts, et ses collaborateurs, vous nous avez beaucoup donné de votre temps précieux, grâce à vous nos sorties sur terrain se sont déroulées dans de parfaites conditions.*

*Nous vous en remercions et vous assurons de notre très sincère gratitude et de notre plus profond respect.*

*Mr SEBTI, au-delà des qualités humaines et de la générosité qui vous caractérisent si bien, vous avez su nous faire vivre cette idée fondatrice de l'Art selon laquelle les études ne s'apprennent pas uniquement sur les bancs de la Faculté.*

*Recevez ici, l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.*

*Nos parents,*

*Tous deux avez toujours su faire face aux tracas de l'existence tout en gardant à l'esprit la nécessité de faire partager ces qualités de volonté, de détermination, et de motivation à chacun de vos enfants. En complément de toute l'affection que vous nous avez portée, ces valeurs nous ont menées jusqu'ici. Soyez-en remerciés.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont à tous les enseignants qui nous ont suivis durant nos années d'étude ainsi qu'à nos confrères et consœurs.*

*Lamia et Soumia*

# SOMMAIRE

|  |     |
|--|-----|
| <b>REMERCIEMENTS</b> .....   | i   |
| <b>SAMMAIRE</b> .....  | ii  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....  | vi  |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....   | vii |
| <b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b> .....  | x   |
| <b>INTRODUCTION</b> .....  | 1   |
| <b>Partie I : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE</b>  |     |
| <b>Chapitre I : GÉNÉRALITES SUR LES LICHENS</b>                                      |     |
| I.1. Définition .....  | 3   |
| I.2. Description du thalle .....   | 4   |
| I.3 Différents groupes de lichens .....  | 6   |
| I.4. Le rôle du substrat dans l'installation des groupements lichéniques .....       | 7   |
| I.5. Résistance des lichens aux conditions extrêmes .....                            | 7   |
| I.6. Sensibilité des lichens à la pollution .....                                    | 7   |
| I.7. Influence allélopathique (facteur chimique) .....                               | 8   |
| I.8. Usage des lichens .....   | 8   |
| I.9. Lichens nuisibles .....   | 9   |
| I.10. La bioindication .....   | 10  |
| I.10.1. Définition .....   | 10  |
| I.10.2. Intérêt des lichens comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique ..... | 10  |
| I. 11. Effets toxiques des polluants atmosphériques sur les lichens .....            | 11  |
| <b>Chapitre II : POLLUTION ATMOSPHERIQUE</b>   |     |
| II.1. Introduction .....   | 12  |

|   |    |
|---|----|
| II.2. Classification des polluants .....                                | 12 |
| II.3. Types de pollutions .....   | 12 |
| II.4. Fonctionnement du système atmosphérique .....                     | 13 |
| II.5. Circulation atmosphérique des polluants .....                     | 14 |
| II.6. Météorologie et pollution .....                                   | 14 |
| II.6.1. Influence du vent .....   | 15 |
| II.6.2. Influence de la chaleur et de la lumière .....                  | 15 |
| II.6.3. Présence de pluies .....  | 15 |
| II.6.4. Influence de la stabilité de l'atmosphère .....                 | 16 |
| II.6.5. Influence de la topographie locale .....                        | 17 |
| II.7. Variation de la température et de la pression atmosphérique ..... | 17 |
| II.8. Les cycles de pollution journalière .....                         | 18 |
| II.9. Conséquences de la pollution atmosphérique .....                  | 19 |

### **Chapitre III : LA BIOSURVEILLANCE**

|   |    |
|---|----|
| III. 1. Principes généraux de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique ..... | 20 |
| III.1.1. Définition .....   | 20 |
| III.1.2. Définition des concepts .....  | 20 |
| III.1.2.1. Biomarqueur .....  | 22 |
| III.1.2.2. Bio-indicateur .....   | 22 |
| III.1.2.3. Bio-intégrateur .....  | 22 |
| III.1.2.4. Bioaccumulateur .....  | 23 |
| III.2. Informations fournies sur la pollution atmosphérique .....                             | 23 |
| III.3. Domaines d'application de la bio-détection vis-à-vis des polluants .....               | 25 |
| III.4. Méthodes d'estimation des effets de la qualité de l'air sur les lichens .....          | 26 |

## **Partie II : PARTIE EXPÉRIMENTALE**

### **Chapitre IV : MATÉRIEL ET MÉTHODES**

|   |    |
|---|----|
| IV.1. Présentation de la zone d'étude .....             | 27 |
| IV.1.1. Situation géographique .....                    | 27 |
| IV.1.2. Sources de pollution dans la zone d'étude ..... | 28 |
| IV.1.3. Types de pollution .....                        | 28 |
| IV.1.4. Climatologie .....                              | 29 |
| IV.2. Travail sur le terrain .....                      | 31 |
| IV.3. Station de biosurveillance .....                  | 31 |
| IV.3.1. La stratégie d'échantillonnage .....            | 31 |
| IV.3.2. Choix des sites .....                           | 33 |
| IV.3.3. Prélèvement des lichens in situ .....           | 34 |
| IV.4. Identification des espèces lichéniques .....      | 36 |
| IV.5. Calcul de la surface de recouvrement .....        | 37 |
| IV.6. Travail au laboratoire .....                      | 37 |
| IV.6.1. Dosage des métaux lourds .....                  | 37 |
| IV.6.2. Dosage de l'MDA .....                           | 37 |
| IV.6.3. Dosage de la chlorophylle .....                 | 38 |
| IV.6.4. Dosage de la phaeophytine .....                 | 38 |
| IV.5.5. Calcul de facteur de contamination (CF) .....   | 39 |

### **Chapitre V : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION**

|  |    |
|--|----|
| V.1. Résultats .....                       | 40 |
| V.1.1. La surface de recouvrement .....    | 40 |
| V.1.2. Les métaux lourds .....             | 41 |
| V.1.2.1. Résultats du dosage de Zinc ..... | 41 |

|   |           |
|---|-----------|
| V.1.2.2. Résultats du dosage de Cadmium .....   | 42        |
| V.1.2.3. Résultats du dosage de Plomb .....   | 44        |
| V.1.2.4. Résultats du dosage de manganèse .....   | 45        |
| V.1.2.5. Résultats du dosage de cuivre .....  | 46        |
| V.1.2.6. Teneurs des lichens en métaux lourds (ppm) dans les différents sites et transects... | 48        |
| V.1.2.7.Effet de la distance des transects sur les concentrations en métaux des lichens.....  | 49        |
| V.1.3. Résultat du dosage de l'MDA .....  | 50        |
| IV.1.4. Résultats du dosage de la chlorophylle et de la phaeophytine .....                    | 51        |
| IV.1.4.1. Résultats de la chlorophylle .....  | 51        |
| IV.1.4.2. Résultats de la phaeophytine .....  | 54        |
| IV.1.5. Le Facteur de contamination (CF) .....  | 57        |
| <br><b>Partie III : RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>   |           |
| <b>Chapitre VI : DISCUSSION DES RÉSULTATS .....</b>   | <b>60</b> |
| <b>CONCLUSION .....</b>   | <b>64</b> |
| <b>PERSPECTIVES .....</b>   | <b>66</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>   | <b>67</b> |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 1</b> : Classification des principaux types de polluants (RAMADE, 2000).....   | 13 |
| <b>Tableau 2</b> : Utilisation actuelle des lichens en biosurveillance de la qualité de l'air (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).....  | 26 |
| <b>Tableau 3</b> : Types de pollution présente au niveau de la zone industrielle d'Ouled Salah selon les résultats de l'enquête.....  | 28 |
| <b>Tableau 4</b> : Moyennes mensuelles de Température (°C) et des précipitations (mm) à Jijel, période 1997 - 2006 (Office Nationale de la Météorologie - O.N.M -).....                       | 29 |
| <b>Tableau 5</b> : Test de coloration thalline.....   | 36 |
| <b>Tableau 6</b> : Estimation de taux de recouvrement des arbres par différents types de lichens au niveau de la quatrième et cinquième station d'étude, suivante (BRAUN-BLANQUET, 1964)..... | 40 |
| <b>Tableau 7</b> : Concentrations respectives de Zn (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....  | 41 |
| <b>Tableau 8</b> : Concentrations de Cd (ppm) dans les lichens de différents sites et transects.....  | 43 |
| <b>Tableau 9</b> : Concentrations respectives de Pb (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....  | 44 |
| <b>Tableau 10</b> : Concentrations de Mn (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....   | 46 |
| <b>Tableau 11</b> : Concentrations du Cu (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....   | 47 |
| <b>Tableau 12</b> : Teneurs des lichens en zinc, cadmium, plomb, cuivre et manganèse (ppm) dans les différents sites et transects.....  | 48 |
| <b>Tableau 13</b> : Concentrations moyennes de zinc, cadmium, plomb, cuivre et manganèse (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....   | 49 |
| <b>Tableau 14</b> : Résultats de l'MDA représentant le taux de peroxydation lipidique dans les différents échantillons.....   | 51 |
| <b>Tableau 15</b> : Teneur chez les lichens de la chlorophylle (a), (b) et (a+b) en ppm après traitement par acétone.....   | 52 |
| <b>Tableau 16</b> : Teneur chez les lichens de la chlorophylle (a), (b) et (a+b) en ppm.....  | 55 |
| <b>Tableau 17</b> : Teneur chez les lichens de la phaeophytine (a), (b) et (a+b) en ppm après dégradation des pigments chlorophylliens.....   | 55 |
| <b>Tableau 18</b> : Calcul de facteur de contamination CF pour les différentes stations d'étude.....  | 57 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1</b> : Coupe verticale à travers le corps d'un lichen (AHMADIDJIAN et JACOBS, in : BERTRAND et BAUWENS, 2003).....  | 3  |
| <b>Figure 2</b> : Coupe schématique à travers le thalle d'un lichen (SÉRUSIAUX et al, 2004).....   | 4  |
| <b>Figure 3</b> : Thalles crustacés et squamuleux .....  | 5  |
| (a) Thalle crustacé aréolé (avec hypothalle noir très développé); (b) Thalle crustacé placodiomorphe ( <i>Caloplaca flavescens</i> ); (c) Thalle squamuleux à squamules imbriquées ( <i>Mycobilimbia lurida</i> ) (SÉRUSIAUX et al, 2004)..... | 5  |
| <b>Figure 4</b> : Thalle fruticuleux dressé d' <i>Usnea florida</i> (d'après Smith 1918) (SÉRUSIAUX et al, 2004).....  | 5  |
| <b>Figure 5</b> : Thalles de <i>Cladonia</i> composés d'un thalle primaire squamuleux ou foliacé et de podétions : (a) <i>C. digitata</i> (podétion scyphifère); (b) <i>C. coniocraea</i> (SÉRUSIAUX et al, 2004).....                         | 5  |
| <b>Figure 6</b> : Lichen crustacé (Station Souk Letnine - Taher -) .....   | 6  |
| <b>Figure 7</b> : Lichen foliacé (Station Souk Letnine - Taher -) .....  | 6  |
| <b>Figure 8</b> : Lichen fruticuleux (Station Souk Letnine - Taher -) .....  | 6  |
| <b>Figure 9</b> : Schéma planétaire de la pollution atmosphérique (MASCLET, 2005) .....  | 14 |
| <b>Figure 10</b> : Modes d'abattement des polluants de l'atmosphère (MASCLET, 2005) .....  | 16 |
| <b>Figure 11</b> : Variation de la température avec l'altitude (MASCLET, 2005) .....   | 18 |
| <b>Figure 12</b> : Cycle journalier de la pollution urbaine (MASCLET, 2005) .....  | 19 |
| <b>Figure 13</b> : Conséquences de la pollution atmosphérique (MASCLET, 2005) .....  | 19 |
| <b>Figure 14</b> : Présentation des différents concepts de la biosurveillance de la qualité de l'air en fonction des niveaux d'organisation biologique et de lisibilité des effets (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).....                          | 21 |
| <b>Figure 15</b> : Comparaison entre la notion de seuil et la notion de niveau critique d'impacte des polluants en biosurveillance (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).....  | 24 |
| <b>Figure 16</b> : Situation géographique de la zone d'étude (Taher) (Carte des limites administratives de la wilaya de Jijel, 1997).....  | 27 |
| <b>Figure 17</b> : Répartitions mensuelles des précipitations (mm) à Jijel, période 1997 - 2006 (Office Nationale de la Météorologie (O.N.M).....  | 30 |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 18 : Variations mensuelles de la température (C°) à Jijel, période 1997 - 2006 (Office Nationale de la Météorologie (O.N.M)).....</b>  | <b>30</b> |
| <b>Figure 19 : Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la région de Jijel, période 1997 – 2006 .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Figure 20 : La rose des vents annuelle de la région de Jijel, période 1988 - 2007, (office national de la météorologie, 2009).....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Figure 21 : Transects perpendiculaires et emplacements des stations d'études (●).....</b>   | <b>32</b> |
| <b>Figure 22 : La rose des vents annuelle de la région de Jijel, période 1988 - 2007, (office national de la météorologie, 2009).....</b>  | <b>32</b> |
| <b>Figure 23 : Localisation de transects.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>Figure 24 : Prélèvement des lichens à partir des arbres.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Figure 25 : Teneurs en Zn (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>Figure 26 : Teneurs en Cd (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>Figure 27 : Teneurs en Pb (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>Figure 28 : Teneurs en Mn (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>Figure 29 : Teneurs en Cu (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>Figure 30 : Accumulation des métaux lourds chez les lichens des différents sites et transects.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>Figure 31 : Concentrations moyennes de zinc, cadmium, plomb, cuivre et manganèse (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.....</b>   | <b>50</b> |
| <b>Figure 32 : Concentration de l'MDA représentant le taux de peroxydation lipidique dans les différents échantillons lichéniques.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>Figure 33 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en chlorophylle (a) chez les différents échantillons lichéniques.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>Figure 34 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en chlorophylle (b) chez les différents échantillons lichéniques.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>Figure 35 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en chlorophylle totale chez les différents échantillons lichéniques.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>Figure 36 : Courbes illustratives des variations de la teneur en chlorophylle (a), chlorophylle (b), chlorophylle totale et le rapport chlorophylle (a / b) chez des différents échantillons de lichens....</b> | <b>54</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 37</b> : Histogramme représentatif des variations de la teneur en phaeophytine ( <i>a</i> ) chez les différents échantillons lichéniques..... | 55 |
| <b>Figure 38</b> : Histogramme représentatif des variations de la teneur en phaeophytine ( <i>b</i> ) chez les différents échantillons lichéniques..... | 56 |
| <b>Figure 39</b> : Histogramme représentatif des variations de la teneur en phaeophytine totale chez les différents échantillons lichéniques.....       | 56 |
| <b>Figure 40</b> : Courbes illustratives des variations de la teneur en pigments chlorophylliens chez des différents échantillons de lichens.....       | 57 |

## Liste des abréviations

[R°] : Concentrations de radicaux oxydants.

OH° : Radical hydroxyle.

°C : Degré Celsius.

m : Mètre.

km : Kilomètre.

NO, NO<sub>x</sub>: Oxyde d'azote.

NO<sub>2</sub> : Dioxyde d'azote.

NO<sub>3</sub> : Trioxyde d'azote.

NH<sub>3</sub> : Méthane.

HNO<sub>3</sub> : Acide nitrique.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Eau oxygenée.

HF : Hydrogène fluoré.

O<sub>3</sub> : Ozone.

SO<sub>2</sub> : Dioxyde de soufre.

% : Pourcent.

CO, CO<sub>x</sub> : Monoxyde de carbone.

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone.

COV : Composés Organiques Volatiles.

C<sub>x</sub> : Hydrocarbures imbrûlés.

Pb : plomb.

B13 : Gaz butane.

g : Gramme.

mg : Milligramme.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

cm : Centimètre.

nm : Nanomètre.

P : Précipitation.

T : Température.

T<sub>m</sub> : Température minimale.

T<sub>M</sub> : Température maximale.

° : Degré.

KOH : hydroxyde de potassium.

Cd : Cadmium.

## **INTRODUCTION**

Les systèmes écologiques sont soumis à une variété croissante d'agressions, les unes brutales, les autres sournoises. L'utilisation d'indicateurs biologiques est un moyen de diagnostic pouvant caractériser l'état des systèmes, surveiller leur évolution et éventuellement détecter les agressions. En effet, qui, à priori, pourrait mieux rendre compte de l'état et des transformations du vivant que le vivant lui-même ?

De cette idée sont nées de multiples recherches, dont celles liées à l'étude de la pollution atmosphérique, en utilisant les lichens comme "bioindicateurs". Les lichens réagissent effectivement avec beaucoup de sensibilité aux différents degrés de pollution de l'air.

Les dépôts d'origine atmosphériques sont pour les écosystèmes naturels une charge supplémentaire par apport aux teneurs naturelles du fond géochimique sol et eau. Le maintien de la qualité de l'air passe nécessairement par la détection et l'estimation de la pollution atmosphérique globale (MASCLET, 2005).

L'exposition à une pollution atmosphérique par les métaux lourds est connue pour provoquer des effets dommageables, à court ou à long terme sur les écosystèmes terrestres ou aquatiques, mais ces effets sont difficiles à quantifier puisqu'ils se produisent sur des systèmes présentant des seuils de vulnérabilité différents. Les effets toxiques des métaux dépendent de leurs doses, à l'exception du Plomb, Cadmium, Mercure qui sont toujours toxiques. Ces effets sont multiples chez les végétaux et les animaux (SIGNORET, 2002).

La bioindication lichénique doit être un outil à privilégier. Les lichens sont présents partout, leur dépendance de la qualité de l'air et leurs différences de sensibilité aux polluants nous permettent de les utiliser pour évaluer la qualité de l'air (ASTA *et al.*, 2002)

Depuis environ cinq décennies, de nombreuses méthodes ont été mises au point. Certaines d'entre elles ont une approche qualitative permettant d'apprécier le degré de pollution à partir d'observations sur terrain. D'autres sont quantitatives basées sur des formules mathématiques faisant intervenir différents paramètres relatifs à la flore lichénique du fait de la précision avec laquelle ils intègrent les facteurs écologiques de leur environnement, et tout particulièrement les facteurs climatiques et substratiques propres aux vieilles forêts (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

L'objectif de cette étude est de contribuer à une meilleure compréhension de l'impact des pollutions atmosphériques sur les lichens dans des conditions naturelles de terrain.

Dans le cadre de nos travaux de recherche, nous avons opté pour une méthode floristique qualitative qui est basée essentiellement sur le recensement de la flore lichénique de la région de Taher Wilaya de Jijel, située dans le Nord-Est algérien. Elle nous a permis d'une part, de connaître les différentes espèces lichéniques qui vivent dans cette zone et d'autre part de déterminer les différents types de polluants qui y sont présents ce qui nous permettra une meilleure compréhension de l'impact des pollutions atmosphériques.

La région de Taher, wilaya de Jijel, qui est fortement industrialisée, se voit menacée par la pollution atmosphérique. Ainsi nous avons jugé utile d'évaluer les niveaux de concentrations des polluants atmosphériques aussi bien dans l'espace en nous basant sur l'accumulation de ces polluants par les espèces lichéniques, utilisés comme bio indicateurs et bio accumulateurs de la pollution atmosphérique.

Ainsi notre travail est divisé en plusieurs chapitres. Premièrement, une synthèse bibliographique est effectuée en présentant les lichens comme indicateurs biologiques, la pollution atmosphérique pour l'étude de la qualité de l'air et la biosurveillance comme moyen de suivi de la qualité de l'air.

Vient après la partie expérimentale où la zone d'étude et les protocoles suivis sont expliqués et dont l'objectif est de faire une estimation des taux de pollution dans la région de Taher, wilaya de Jijel, afin de pouvoir évaluer la qualité de l'air. Les résultats de différents paramètres étudiés sont présentés dans le chapitre résultats et interprétation, l'étude des variations de concentrations en polluants entre différents sites et transects étudiés, ainsi que les paramètres indicateurs de l'homéostasie cellulaire.

Enfin, une discussion générale est nécessaire pour synthétiser nos résultats et en tirer les remarques globales facilitant leur compréhension, cette discussion est suivie d'une conclusion finale et des perspectives.

Partie I

***ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE***

Chapitre I

**GÉNÉRALITÉS SUR LES LICHENS**

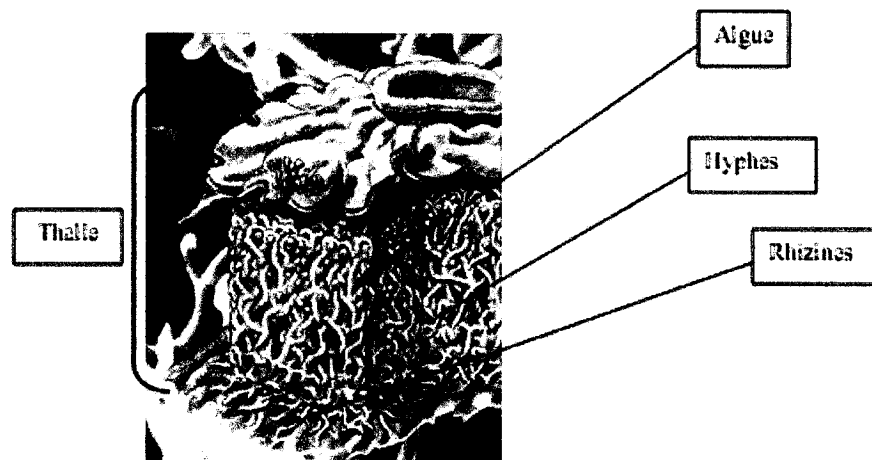
## Chapitre I : GÉNÉRALITÉS SUR LES LICHENS

Les lichens sont certainement les bioindicateurs les plus utilisés dans les écosystèmes terrestres avec des milliers d'articles publiés à ce sujet au cours des dernières décennies (SIGNORET, 2002).

### I.1 Définition

Contrairement à ce que l'on pourrait croire de lichens, ce ne sont pas des plantes ordinaires mais le résultat d'une symbiose entre un champignon et une algue, qui résiste à merveille aux caprices du climat (JOSS, 2007).

Les lichens sont des organismes primitifs résultant de la symbiose d'un champignon constituant le thalle de l'individu, avec une espèce d'algue dénommée Gonidie, qui est soit une cyanophycée comme il est le cas des lichens gélatineux, soit de façon plus générale une algue verte ou chlorophycée pour les autres types lichéneux (RAMADE, 2000). C'est une symbiose à bénéfices réciproques (ASTA *et al.*, 2002). Donc, les lichens ne représentent pas un embranchement naturel (GUIGNAR, 1983).



**Figure 1 : Coupe transversale à travers le corps d'un lichen (AHMADIJIAN et JACOBS, in : BERTRAND et BAUWENS, 2003).**

Selon la théorie mutualiste, l'association serait réciproque: les algues produisent, grâce à leur assimilation chlorophyllienne, les matières organiques que ne peuvent fabriquer les champignons ; ceux-ci, à leur tour, fournissent aux algues l'eau et les sels minéraux qui se trouvent dans leur tissu ou qu'ils puisent.

Selon les théories antagonistes, les algues seraient les victimes des champignons. Il s'agirait donc d'un parasitisme subtil (BERTRAND et BAUWENS, 2003).



Pour CARATINI (1984), selon les travaux de DES ABBAYES, sur le même sujet, ainsi que ceux de LUTTGE *et al.* (1996) : « cette union est si intime et si durable dans ses formes supérieures que le lichen n'est plus dans sa morphologie et sa biologie ni une algue ni un champignon, mais un véritable être nouveau » La symbiose que représente le lichen est donc une association obligée. La figure 2 montre, du haut vers le bas, le cortex supérieur, la couche d'algues (représentée en noir), la médulle et le cortex inférieur.



**Figure 2 : Coupe schématique à travers le thalle d'un lichen (SÉRUSIAUX *et al.*, 2004).**

## 1.2. Description du thalle

L'organisme résultant de la symbiose lichénique est le plus souvent organisé par le mycobionte. L'appareil végétatif ainsi formé est nommé le thalle et peut se présenter sous de nombreuses formes :

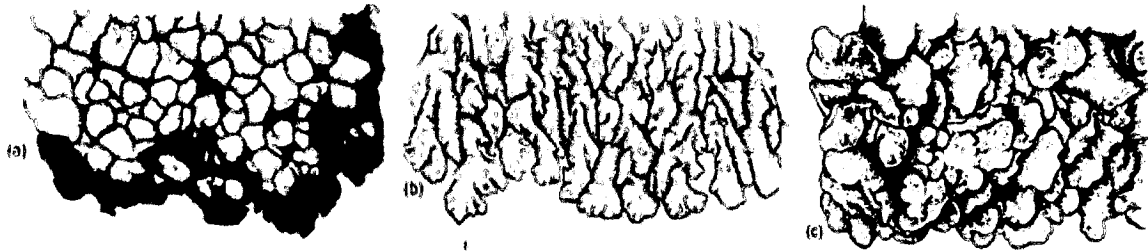
- le type filamenteux est un cas rare, où le thalle est constitué de filaments, généralement très foncés, non gélatineux et entièrement organisés autour de filaments d'une algue verte, riche en caroténoïdes et dès lors de teinte jaune-orange.
- le type crustacé (Fig. 3a) est de loin le plus répandu et correspond à des croûtes que le lichen forme sur son substrat. Ces croûtes peuvent en effet être difficilement séparées de celui-ci sans être endommagées.
- le type placodiomorphe (Fig. 3b), est un autre intermédiaire entre le type crustacé et le type foliacé, en ce sens que le thalle est très fortement adhérent au substrat, mais, à l'inverse du type squamuleux, il n'est pas typiquement formé d'écailles ou de squamules mais, il est distinctement lobé à la périphérie.

Chez le type foliacé, les thalles sont en forme de lame foliacée, à structure typiquement dorsiventrale, plus ou moins lobée ou divisée, et se séparant généralement sans trop de dommages de leur substrat.

- le type squamuleux (Fig. 3c) est incontestablement intermédiaire entre le type crustacé et le type foliacé. Les thalles appartenant à ce type morphologique sont composés d'écailles ou

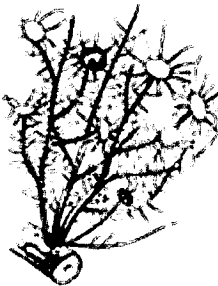
de squamules, fréquemment fortement imbriquées, et adhérant fortement au substrat, au moins en partie.

- le type fruticuleux (Fig. 4) concerne les thalles formés de petites branches ou cylindres, éventuellement aplatis mais généralement de symétrie typiquement radiaire.

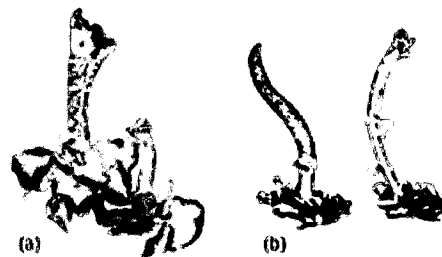


**Figure 3 : Thalles crustacés et squamuleux**

(a) Thalle crustacé aréolé (avec hypothalle noir très développé); (b) Thalle crustacé placodiomorphe (*Caloplaca flavescens*); (c) Thalle squamuleux à squamules imbriquées (*Mycobilimbia lurida*) (SÉRUSIAUX et al, 2004).



**Figure 4 : Thalle fruticuleux dressé d'*Usnea florida***  
(D'après Smith 1918)  
(SÉRUSIAUX et al, 2004).



**Figure 5 : Thalles de *Cladonia* composés d'un thalle primaire squamuleux ou foliacé et de podétions :**  
(a) *C. digitata* (podétion scyphifère); (b) *C. coniocraea*  
(SÉRUSIAUX et al, 2004).

Deux cas particuliers doivent être évoqués :

- le thalle des *Cladonia* sp (Fig. 5) combine le type foliacé ou squamuleux, et le type fruticuleux, sous la forme de petites branches dressées, creuses, ramifiées ou non, et parfois de forme très caractéristique. En fait, le thalle est constitué de petites squamules formant le thalle dit primaire, tandis que les petites branches dressées, appelées podétions, sont en fait une partie des ascocarpes (SÉRUSIAUX et al, 2004).
- le thalle des *Stereocaulon* sp est également formé de squamules réparties sur des petites branches dressées, pleines et souvent ramifiées. A l'inverse des *Cladonia* sp, ces dernières ne

constituent pas une partie des ascocarpes. Les squamules sont des phylloclades (SÉRUSIAUX et al, 2004).

### I.3. Différents groupes de lichens

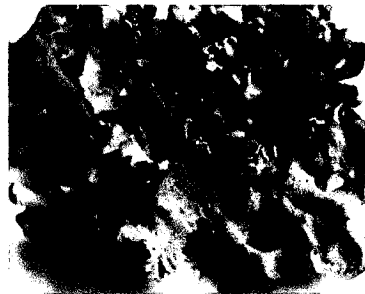
On distingue trois grands groupes systématiques de lichens :

- 1 - les crustacés dont le thalle très aplati adhère fortement au substrat ; beaucoup d'entre eux sont rupicoles mais de nombreuses espèces sont épiphytiques comme la plupart des organismes de ce groupe d'êtres vivants (fig. 6) (RAMADE 2000).



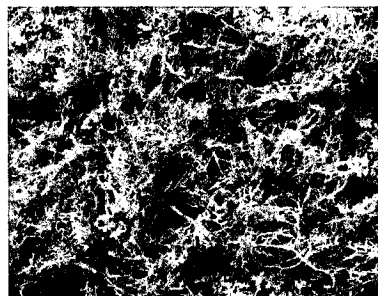
**Figure 6 : Lichen crustacé (Station Souk Letnine - Taher -).**

- 2 - les lichens foliacés dont le thalle ressemble vaguement au limbe foliaire d'une plante vasculaire (fig. 7) (RAMADE, 2000).



**Figure 7 : Lichen foliacé (Station Souk Letnine - Taher -).**

- 3 - les lichens fruticuleux au thalle de forme plus variée et de structure plus complexe (fig. 9) (RAMADE, 2000).



**Figure 8 : Lichen fruticuleux (Station Souk Letnine - Taher -).**

#### **I.4. Le rôle du substrat dans l'installation des groupements lichéniques**

La nature de l'essence servant de support (phorophyte) est déterminante pour la distribution des lichens corticoles, ainsi que pour la structuration des groupements qu'ils constituent. Cette action est notamment liée aux facteurs physico-chimiques des écorces.

- **l'acidité du substrat**

On peut distinguer des écorces nettement acides (en général celles des essences résineuses comme les divers *Pinus sp*), des écorces modérément acides (comme celles de *Quercus sp*) et des écorces peu ou pas acides (comme celles de *Juglans sp* ou *Populus sp*). Les bois nus plus ou moins pourrissants sont souvent nettement plus acides que les écorces des mêmes arbres et présenteront donc en général une flore assez différente.

- **la porosité du substrat**

Nous avons vu que la rétention en eau du substrat influe grandement sur la composition des groupements lichéniques. Sur cette base, on peut aisément distinguer les essences à écorces âgées lisses et à faible rétention d'eau (*Corylus sp*, *Fagus sp*, *Populus sp...*), des essences à écorces âgées altérées et spongieuses (*Quercus sp*). Sur une écorce très lisse (et donc à faible rétention en eau), les espèces exigeantes en humidité auront souvent du mal à s'installer, notamment dans des régions sèches, alors qu'il sera possible de trouver ces espèces sur les arbres à écorces altérées voisines.

D'une façon générale, la question de la spontanéité ou du caractère "climacique" du phorophyte est un peu secondaire face à ces constatations, mais il est souvent constaté que les essences introduites suite à des reboisements montrent des groupements lichéniques nettement plus pauvres que les essences locales (BRICAUD, 2006).

#### **1.5. Résistance des lichens aux conditions extrêmes**

Les lichens peuvent survivre là où ni les champignons, ni les algues ne pourraient se développer seuls. Des tests ont été effectués au laboratoire, à des températures très élevées et très basses, impossibles dans la nature, et les lichens ont survécu. Ils ont un autre atout : en cas de grande sécheresse, ils peuvent stopper complètement leur métabolisme. La rosée ou l'humidité ambiante, qu'ils absorbent tels des éponges, suffit à couvrir leurs besoins en eau. L'hydratation est en effet essentielle à la photosynthèse (JOSS, 2007).

#### **1.6. Sensibilité des lichens à la pollution**

Bien que les lichens puissent survivre dans des conditions extrêmes, ils ont un point faible ; leur sensibilité à la pollution et, en particulier, au dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) émis par les véhicules à

moteurs et certaines usines. Les lichens n'ont pas de racines ; ils tirent les substances dont ils ont besoin de l'air ambiant et des précipitations. Ils absorbent ainsi des substances toxiques qui perturbent leur fragile équilibre symbiotique.

Cette fragilité fait des lichens des indicateurs biologiques : en fonction des espèces présentes et de leur apparence, les spécialistes peuvent tirer des conclusions sur la qualité de l'air (JOSS, 2007).

### **I.7. Influence allélopathique**

Les composés allélopathiques sont connus pour leurs effets inhibiteurs. Ces produits sont généralement des phénols, comme les acides féruliques, les acides caféiques, des coumarines et des terpènes, pouvant être lessivés ou secrétés. Ils sont possiblement accumulés dans des structures spécialisées, assurant ainsi la protection de l'organisme qui les métabolise. Une fois relâchés à l'extérieur de la plante, les agents allélopathiques seraient absorbés par les tissus végétaux des plantes voisines (MULLER, 1980).

La réponse chez les lichens à ces substances qui peuvent affecter la croissance végétale a été démontrée à plusieurs reprises par l'étude de leur activité biologique sur divers modèles de plantes. Les travaux stipulent que l'effet de certains lichens comme *Cladina rangiferina* et *Cladina stellaris* sur la croissance des arbres se fait par relâchement de substances chimiques, qui aurait un effet non pas sur les champignons mycorhizateurs racinaires, mais une telle interaction affecterait de façon significative la croissance des plantules et des transplants, par réduction de l'accumulation des nutriments comme le phosphore et l'azote (ARSENAULT, 1978).

### **I.8. Usage des lichens**

Présents dans la plupart des milieux terrestres de notre environnement, les lichens intègrent de façon très précise les facteurs abiotiques et biotiques.

Par leur lente croissance, leur longévité et par la symbiose autotrophique à partir de l'air qu'ils représentent, les lichens sont reconnus comme des bio-indicateurs sensibles de la qualité de l'air, c'est-à-dire du degré de pollution (KIRSCHBAUM et WIRTH, 1997).

Les lichens peuvent être considérés comme des indicateurs biologiques de premier ordre. Ils intègrent en effet sur le long terme les différents facteurs abiotiques et biotiques de leur environnement, et une analyse de leurs peuplements donne des indications sur les niveaux de perturbations des milieux qui les hébergent (BRICAUD, 2006).

Selon OZENDA (2000), les lichens peuvent être utilisés comme indicateurs de la chimie des sols, pour l'évaluation de la hauteur moyenne d'enneigement et pour la datation de l'âge des moraines, d'après le diamètre des plus grands lichens crustacés de leurs blocs rocheux. Mais leur principal intérêt dans ce domaine est leur utilisation possible dans la localisation des pollutions

atmosphériques. Par la structure de leur thalle, ils sont plus sensibles que les végétaux à la pollution atmosphérique, même si celle-ci est faible. Ce qui permet d'utiliser la composition de leurs peuplements comme bio-indicateur du niveau de pollution. Cette sensibilité varie en fonction de la nature du polluant (BRICAUD, 2006).

Les Lichens peuvent être aussi des accumulateurs de retombés radioactifs, ce qui a été particulièrement étudié dans les pays arctiques où ils jouent un grand rôle dans la nutrition des herbivores de ce pays (OZENDA, 2000).

Pour RAMADE (2000), c'est l'état de la flore lichénologique qui permet l'évaluation de la qualité de l'air urbain suite à l'utilisation de relevés de la flore lichénale qui permettrait de mettre en évidence une distribution des communautés de lichens en zones concentriques dans les régions urbaines.

L'éclairement et la température sont des facteurs qui interviennent en second lieu après les préférences hydriques (BRICAUD, 2006). Les espèces de lichens présentes en été peuvent fournir des indications sur l'enneigement en hiver (JOSS, 2007).

Certains lichens sont utilisés pour l'alimentation humaine. D'autres lichens contiennent des macromolécules de « *lichenine* » dégradées en glucose au cours de la digestion (OZENDA et CLAUZADE, 1970).

Les lichens peuvent être utilisés comme médicaments tel des drogues. Le principal intérêt des lichens en médecine semble être actuellement la possibilité d'en extraire des antibiotiques (OZENDA et CLAUZADE, 1970 ; JOSS, 2007).

Les lichens sont aussi utilisés dans l'industrie, et cela dans des différents domaines : fabrication des teintures, maquillages, glucose et alcool, décoration, etc... (OZENDA et CLAUZADE, 1970; DUPEUBLE, 2005). D'autres encore sont utilisées en parfumerie ou pour teindre des textiles (JOSS, 2007).

### **I.9. Lichens nuisibles**

La corrosion du verre et en particulier celle des vitraux anciens sont un exemple devenu classique mais probablement exceptionnel.

Plus important et plus controversée est la question de l'action des Lichens épiphytes sur les arbres qui les portent. Les arbres chargés de Lichens épiphytiques sont souvent des arbres vieux ou de vitalité réduite. Mais il n'est pas possible de dire s'il s'agit là d'une action nocive directe ou bien simplement de l'installation plus facile des Lichens sur des arbres déjà malades dont l'écorce offrirait une moindre résistance (OZENDA, 2000).

## **I.10. La bioindication**

### **I.10.1. Définition**

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

Ces organismes sont parfois appelés « organismes sentinelles », en ce sens qu'ils peuvent réagir à de très faibles taux de contamination de polluant (LEVEQUE et MOUNOULOU, 2001). Ainsi, ils sont capables d'accumuler les polluants persistant tels que les métaux lourds (LOPPI et PIRINTSOS, 2003).

### **I.10.2. Intérêt de lichen comme bio indicateur de la pollution atmosphérique**

Les lichens possèdent de nombreuses particularités biologiques et structurales qui en font des témoins fidèles de la pollution (DERUELLE, 1984).

- n'ayant ni racine, ni tige, ni feuille, ni appareil conducteur, ils sont incapables d'effectuer une régulation hydrique. Ils sont soumis aux fluctuations du milieu et peuvent absorber et accumuler sans distinction des quantités très importantes de substances prélevées dans l'atmosphère (air, eau, poussières, substances et gaz dissous) (LIBENDORFER, 1988).

- contrairement aux plantes supérieures, ils sont dépourvus de moyens de lutte contre la pollution (pas de cuticule, absence de stomates permettant la régulation des échanges, absence de système d'excrétion).

- leur activité photosynthétique continue, leur taux de croissance très faible, leur grande longévité et leur productivité très faible font des lichens des espèces particulièrement sensibles utilisées dans la détection des pollutions (pollution acide, fluorée, métaux lourds, radioactivité,...).

Donc, les lichens sont sensibles à la qualité de l'air parce qu'ils doivent tirer de l'atmosphère l'eau et les éléments nutritifs dont ils ont besoin et parce qu'ils ne possèdent aucune structure protectrice comparable à la cuticule des plantes vasculaires (RICHARDSON et CAMERON, 2004, in : COSEPAC, 2009).

**I. 11. Effets toxiques des polluants atmosphériques sur les lichens**

L'adaptation écologique des lichens, qui leur permet de coloniser des milieux très pauvres, devient un handicap dans les zones où l'atmosphère contient des teneurs relativement élevées en substances toxiques que les thalles vont concentrer et accumuler. Les symptômes se traduisent par :

- un blocage de la photosynthèse ;
- une chlorose ;
- une tendance à se séparer du support ;
- des changements de coloration dus à la dénaturation des acides lichéniques ;
- la croissance est évidemment réduite, la fertilité décroît elle aussi rapidement

(DURRIEU, 1993).



Chapitre II

***LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE***

## Chapitre II : POLLUTION ATMOSPHERIQUE

### II.1. Introduction

L'étude de la qualité de l'air s'est largement diversifiée pour une meilleure connaissance du phénomène de pollution et de lutte contre la pollution atmosphérique (UNG *et al.*, 2002).

Polluer signifie étymologiquement profaner, souiller, salir, dégrader. Sous le terme de polluant, on désigne toute substance naturelle ou d'origine strictement anthropogénique que l'homme introduit dans un biotope donné, dont elle était absente ou encore dont il modifie et augmente la teneur (dans l'eau, l'air ou les sols selon les biotopes) lorsqu'elle est spontanément présente. De même, agit comme polluant toute modification d'un processus physique qui conduit à accroître les flux d'énergie ou les niveaux de radiation dans l'environnement. Enfin, par extension du terme, on considère parfois comme polluant biologique toute espèce allochtone introduite dans un écosystème éloigné de son aire d'origine (RAMADE, 2000).

### II.2. Classification des polluants

Il existe un grand nombre de polluants. Pour les classer, on peut utiliser leur nature physicochimique, leur modalité de dispersion ou encore le type de biotope contaminé.

Dans le tableau 1 figure une synthèse de ces diverses approches (RAMADE, 2000).

### II.3. Types de pollutions

On peut distinguer quant à ses modalités d'émission deux types de pollution atmosphérique.

Le premier correspond à des sources de pollution dites ponctuelles, le second à des pollutions diffuses. Les sources de pollution **ponctuelle** sont constituées par des cheminés d'usines, cause d'émission considérable d'aéropolluants ou d'importants sites d'industries chimiques concentrés sur une aire restreinte.

À l'opposé il existe une multitude de causes de pollution **diffuse** : il s'agit des échappements des véhicules à moteurs, des incinérations sauvages de déchets domestiques ou industriels dans des dépôts illégaux, des entrainements par le vent de particules de sols souillés par des contaminants chimiques etc... (RAMADE, 2005).

Tableau 1 : Classification des principaux types de polluants (RAMADE, 2000).

| Type de pollution | Nature de polluant                                      | Air | Eau | Sol |
|-------------------|---|-----|-----|-----|
| <b>Physique</b>   |   |     |     |     |
| Radioactive       | Radionucléide (rayonnement)                             | +   | +   | +   |
| Thermique         | Chaleur   | +   | +   |     |
| Nuisance sonore   | Bruits et vibrations à basse fréquence                  | +   |     |     |
| <b>Chimique</b>   | -Dérivés gazeux du carbone et hydrocarbures liquides    | +   | +   | +   |
|                   | -Détersifs  |     | +   |     |
|                   | -Matière plastiques                                     |     | +   | +   |
|                   | -Pesticides et autres composés organiques de synthèse   | +   | +   | +   |
|                   | -Dérivés du soufre                                      | +   | +   | +   |
|                   | -Dérivés de l'azote                                     | +   | +   | +   |
|                   | -Métaux toxiques  | +   | +   | +   |
|                   | -Fluorure   | +   | +   | +   |
|                   | -Particules solides                                     | +   |     | +   |
|                   | -Matière organiques fermentescibles                     |     |     |     |
| <b>Biologique</b> | -Contamination microbienne des milieux                  |     | +   | +   |
|                   | -Introduction d'espèces animales ou végétales invasives |     |     |     |

#### II.4. Fonctionnement du système atmosphérique

Le système atmosphérique débute par l'émission, dans la biosphère, de gaz et de particules à partir des sources naturelles ou anthropiques, puis les substances se transportent et réagissent entre elles durant ce transport. Enfin elles se déposent et sortent donc du système atmosphérique (fig. 9) (MASCLET, 2005).

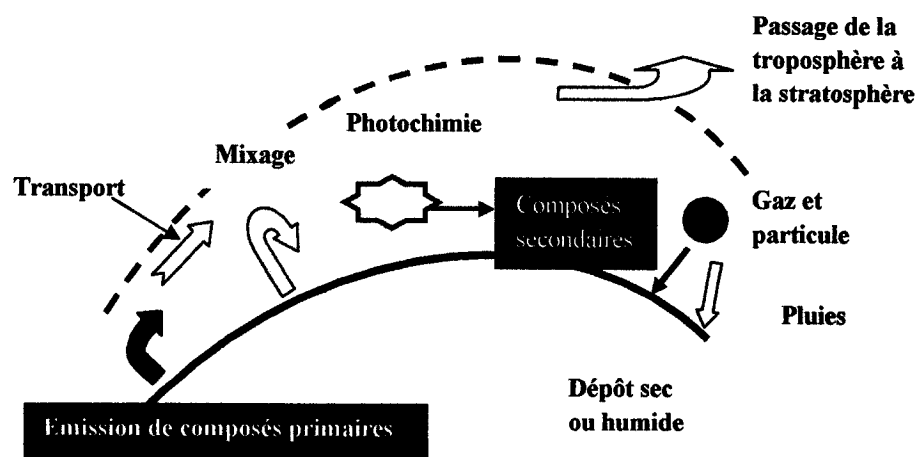


Figure 9 : Schéma planétaire de la pollution atmosphérique (MASCLET, 2005).

## II.5. Circulation atmosphérique des polluants

Les mouvements atmosphériques jouent un rôle fondamental dans la répartition des agents polluants. En effet, qu'il soit gazeux, liquide ou même solide, tout composé organique ou minéral peut théoriquement, passer dans l'air. Evident dans le cas des gaz, ce passage s'effectue pour les liquides sous forme d'aérosols ou par évaporation si leur tension de vapeur est suffisante. Quant aux solides, ils peuvent tous être entraînés dans l'atmosphère, à condition qu'ils se trouvent réduits à l'état de fines poussières.

Ce sont les courants ascendants et le vent qui dispersent les substances polluantes en altitude et assurent ainsi leur circulation troposphérique. Cette contamination de l'atmosphère ne se fait pas au hasard mais selon les mécanismes bien définis liés aux divers paramètres qui contrôlent les phénomènes météorologiques (RAMADE, 2005).

Les phénomènes météorologiques tels que les brises de montagne et de vallée peuvent avoir une grande influence sur la dispersion et le transport de polluants (THRANE, 1988 ; GOMBERT, 1999, in : ALIOUA, 2008).

## II.6. Météorologie et pollution

Les concentrations et la distribution spatiotemporelle des polluants ne sont pas seulement déterminées par les sources et les transformations physicochimiques. Elles le sont aussi par des paramètres physiques qui révèlent de la dynamique atmosphérique.

Un épisode de pollution est observé lorsque :

- les émissions de polluants sont importantes
- la météo est défavorable.

Il existe quatre situations météorologiques favorisant les phénomènes de pollution :

- absence de vent ou vent faible
- chaleur et lumière
- absence de pluies
- couches d'inversion basse (MASCLET, 2005).

Donc, la qualité de l'air n'est pas seulement dépendante de la quantité de polluants émise par les sources. Elle est également liée aux conditions climatiques, météorologiques, topologiques et morphologiques du milieu (UNG, 2003).

### **II.6.1. Influence du vent**

Le vent tend à disperser la pollution surtout en absence de relief. Plus le vent est fort, plus la pollution se disperse rapidement (MASCLET, 2005).

Généralement la vitesse du vent augmente avec l'altitude. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, la dispersion horizontale est facilitée par le vent. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution en ville seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (UNG, 2003).

### **II.6.2. Influence de la chaleur et de la lumière**

La lumière et la température augmentent :

- la probabilité et la vitesse des réactions photochimiques
- les concentrations de radicaux oxydants  $[R^\circ]$  tels que les radicaux  $OH^\circ$

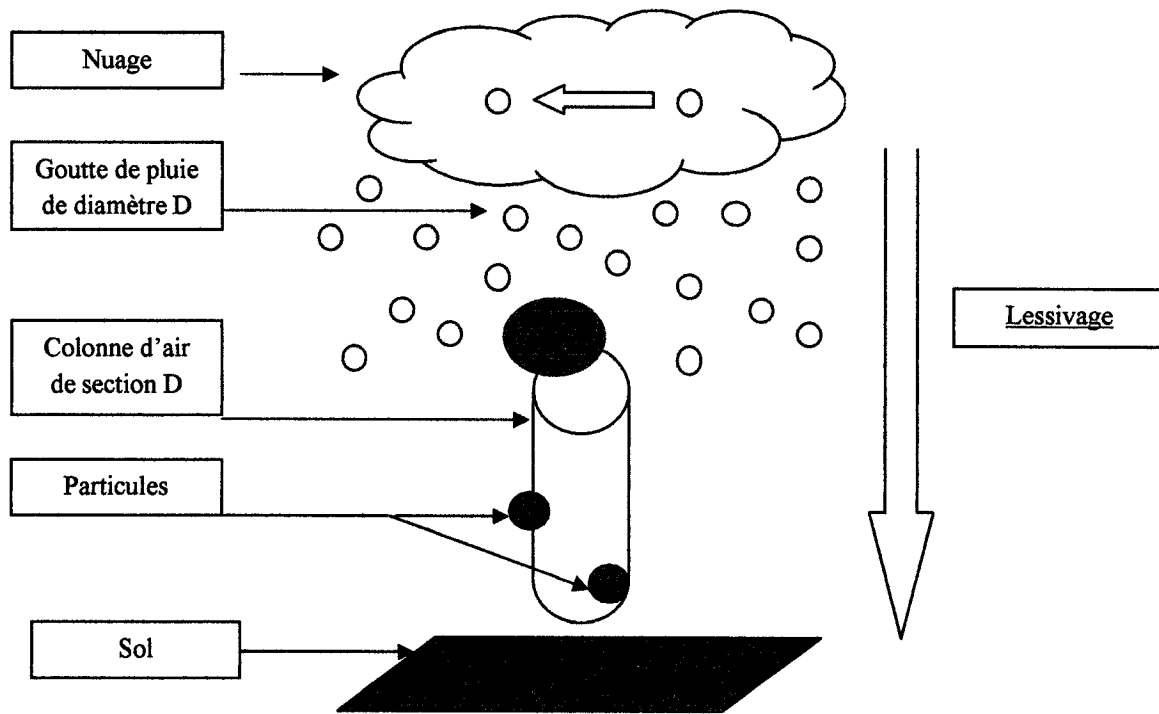
Dans les deux cas, le temps de vie des espèces est raccourci, les espèces primaires disparaissent plus vite mais les espèces secondaires comme l'ozone apparaissent plus rapidement (MASCLET, 2005).

### **II.6.3. Présence de pluies**

La présence de pluies (ou de neige) conduit toujours à une diminution de la pollution (MASCLET, 2005). Deux phénomènes de lessivage de l'atmosphère (fig. 10) par les pluies contribuent à cette diminution

- incorporation des gaz dans le nuage (« *in cloud* »)
- lessivage des particules sous le nuage (« *under cloud* »)

Les gaz solubles (c'est le plus souvent le cas) se dissolvent dans les gouttes d'eau des nuages. C'est le phénomène d'incorporation.



**Figure 10 : Modes d'abatement des polluants de l'atmosphère (MASCLET, 2005).**

En tombant, la pluie entraîne mécaniquement vers le sol les polluants. Les particules et certains gaz sont lessivés par la pluie. C'est le phénomène d'abatement. La chute de la goutte d'eau « abat » les particules qui se trouvent dans la colonne d'air comprise entre la base du nuage et le sol. Dans les deux cas, la pollution est beaucoup plus faible lorsqu'il pleut. L'atmosphère est purifiée, mais il peut y avoir transfert de pollution de l'air vers les sols ou les eaux de surface (MASCLET, 2005).

#### II.6.4. Influence de la stabilité de l'atmosphère

Une atmosphère est stable si une masse d'air, écartée de sa position d'équilibre, a tendance à revenir. Elle est instable dans le cas contraire.

En situation normale de diffusion dans la troposphère, la température diminue avec l'altitude. Cette situation ne freine pas la diffusion verticale des masses d'air, et donc des polluants, jusqu'à ce qu'elles atteignent un certain équilibre, c'est-à-dire que la densité de l'air ambiant soit la même que

l'air montant. Mais il peut exister des situations d'inversion de température à partir d'une certaine hauteur.

Dans cette situation, une couche d'air chaud se trouve au-dessus d'une couche d'air plus froid et joue le rôle de couvercle thermique. L'air pollué, qui se disperse vers le haut en situation normale de diffusion, est alors bloqué par cette couche d'air chaud. Ce phénomène contribue à la pollution locale et peut conduire aux pics de pollution. Il se rencontre dans des situations météorologiques particulières :

- en début de matinée, suite à une nuit dégagée et sans vent, les couches d'air à proximité du sol se sont refroidies tandis que les couches immédiatement supérieures restent plus chaudes ;
- en hiver, lors de conditions anticycloniques (belle journée d'hivers ensoleillée, zone de hautes pressions) avec de faibles vents. Ces épisodes de pollution sont appelés « smog ». (UNG, 2003).

#### **II.6.5. Influence de la topographie locale**

La surface terrestre est à l'origine de turbulences atmosphériques au niveau de la sous-couche rugueuse. Ces turbulences peuvent être d'origine thermique, due à l'instabilité thermique des masses d'air, ou d'origine « mécanique », due aux obstacles présents à la surface. Les perturbations de l'air, entraînant une dispersion des polluants, s'étendent verticalement jusqu'à près de trois fois la hauteur de l'obstacle, et horizontalement jusqu'à quarante fois la hauteur dans la zone sous le vent (TROEN et PETERSEN, 1989). C'est donc la taille, la forme, la densité des obstacles et son environnement qui conditionnent l'écoulement de l'air à la surface de la terre, leur temps de résidence et les échanges avec la couche limite. Ainsi dans une rue isolée et ventilée, le temps de résidence d'une masse d'air peut-être de quelques secondes seulement (UNG, 2003).

#### **II.7. Variation de la température et de la pression atmosphérique**

Avec l'altitude, la pression atmosphérique décroît régulièrement. En revanche, la température décroît, croît puis décroît de nouveau avec l'altitude. Le sol est chauffé par les radiations solaires, essentiellement par absorption de la lumière infrarouge. Le sol transmet sa température à la basse troposphère. C'est pourquoi, les basses couches de la troposphère - près de sol - sont plus chaudes et que la température décroît régulièrement avec l'altitude. En partant du sol, la température de l'air décroît d'environ 0,6 °C tout les 100 m, d'où la présence de la neige en montagne. Le minimum de température se trouve vers 12 km d'altitude, donc la tropopause. Les maximums de température sont observés au niveau du sol et dans la stratosphère (fig. 11) (MASCLET, 2005).

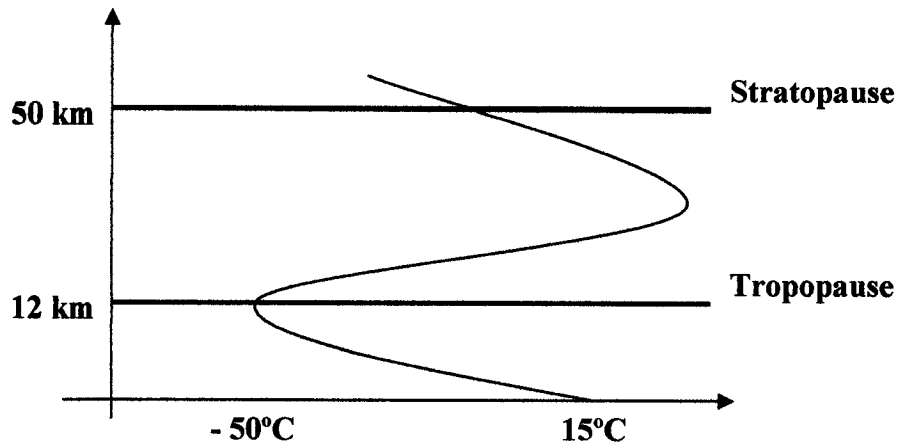


Figure 11 : Variation de la température avec l'altitude (MASCLET, 2005).

### II.8. Les cycles de pollution journalière

- en début de journée il y a beaucoup de polluants primaires tels que le NO et les hydrocarbures.
- pendant la journée le NO s'oxyde en NO<sub>2</sub> et leurs concentrations varient en sens contraire. Parallèlement, la concentration des hydrocarbures diminue tandis que l'abondance des produits de réaction tels que les aldéhydes augmente.
- en fin de journée on retrouve surtout les oxydants tels que l'ozone et des produits terminaux de réaction tels que l'acide nitrique HNO<sub>3</sub>.

Pendant la nuit, les concentrations varient sous l'effet de la dynamique atmosphérique pour retrouver, à la fin de la nuit, le niveau du matin, sauf en l'absence total de vent conduisant alors à une accumulation des polluants (MASCLET, 2005).

#### Variation journalière :

En l'absence de modifications importantes de la météo, le cycle est lié :

- aux périodes de pointes de circulation ;
- aux réactions photochimiques ;
- à la dynamique : convection et dispersion horizontale des polluants.

(MASCLET, 2005).



Les variations journalières des concentrations de polluants sont présentées dans la figure 12.

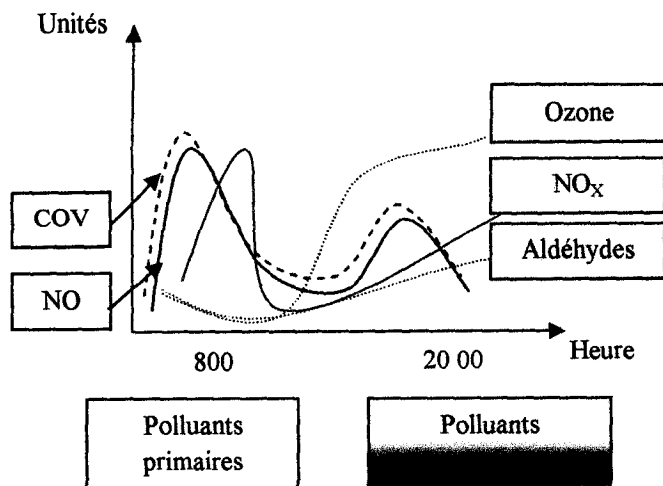


Figure 12 : Cycle journalier de la pollution urbaine (MASCLET, 2005).

### II.9. Conséquences de la pollution atmosphérique

Les conséquences de la pollution atmosphériques (fig. 13) sont de deux sortes :

- impact sanitaire et environnemental ;
- impact climatique.

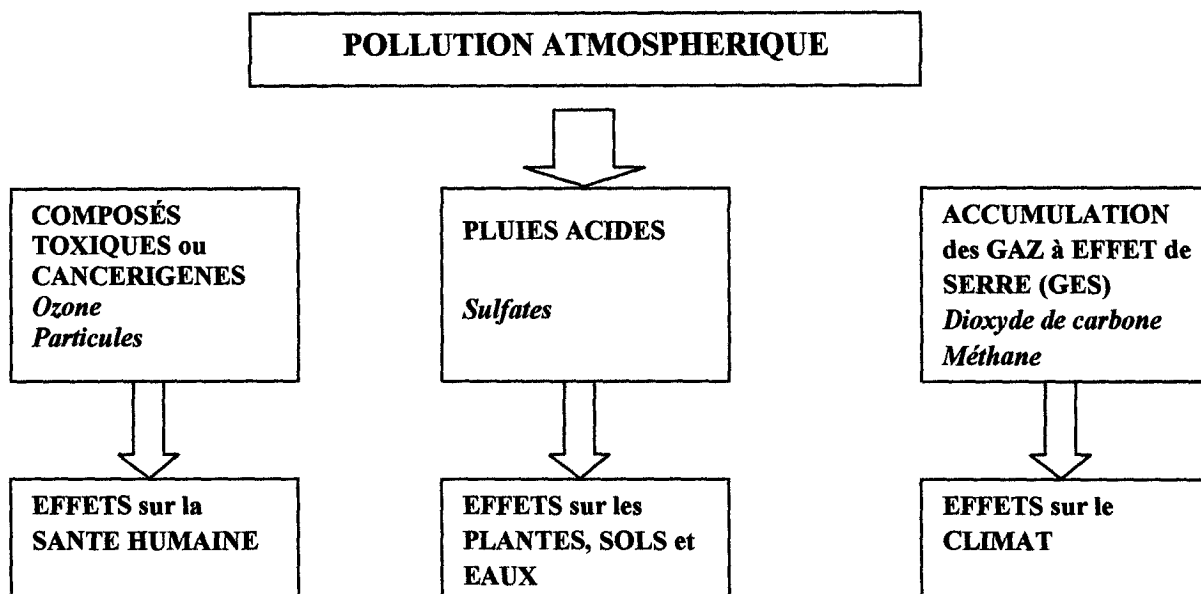


Figure 13 : Conséquences de la pollution atmosphérique (MASCLET, 2005).

Chapitre III

***LA BIOSURVEILLANCE***

## Chapitre III : LA BIOSURVEILLANCE

### III.1. Principes généraux de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique.

#### III.1.1. Définition

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 (fig. 14) (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

#### III.1.2. Définitions des concepts

La définition de GARREC et VAN HALUWYN, (2002), a l'avantage d'être plus précise et de lever l'ambiguïté sur des termes, comme bioindication et biomonitoring, sujet à des interprétations très variables.

En fonction de la situation à laquelle on est confronté, on a souvent recours soit à une approche dite **passive**, soit à une approche dite **active** (afin d'augmenter la performance du diagnostic, on utilisera simultanément ces deux approches).

Par approche **passive**, on entend l'utilisation des végétaux en place, avec les inconvénients de ne pouvoir choisir ni les sites, ni les espèces, ni leur environnement. Il s'agit d'une intégration rétroactive sur une plus ou moins longue durée de la pollution et des paramètres stationnels (climat, gestion) et des facteurs propres au végétal (variabilité génétique).

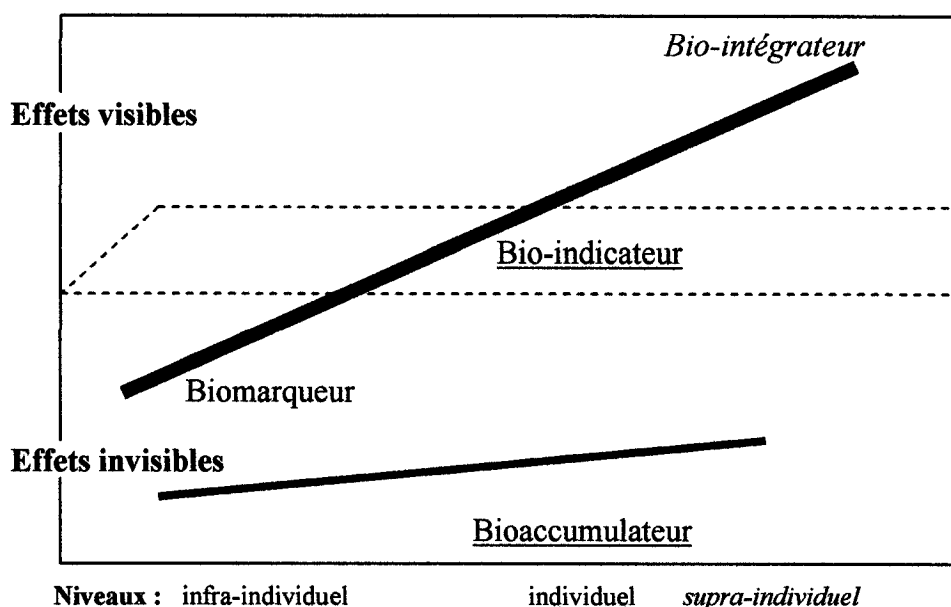
Par approche **active**, on entend la mise en place sur un site pendant une période donnée de végétaux génétiquement sélectionnés et cultivés dans des conditions standardisées. Elle permet de se dégager des facteurs génétiques et stationnels.

La définition de la biosurveillance sera précisée après avoir défini les quatre concepts que nous regroupant sous ce terme : **biomarqueur**, **bio-indicateur**, **bio-intégrateur** et **bioaccumulateur** (fig. 14).

Les trois premiers concepts relèvent essentiellement de processus biologiques, ce sont des indications de **réaction**. Ils correspondent à une progression à la fois dans l'expression et la lisibilité des effets observés que dans le niveau d'organisation biologique étudié :

- le **biomarqueur** se situe au niveau infra-individuel : altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles ;
- le **bio-indicateur** se place au niveau individuel : altérations physiologiques, tissulaires ou morphologiques visibles ;
- le **bio-intégrateur** se situe au niveau populationnel et/ou communautaire : disparition ou apparition d'espèces, variation densitaire.

(GARREC et VAN HALUWYN, 2002).



**Figure 14 : Présentation des différents concepts de la biosurveillance de la qualité de l'air en fonction des niveaux d'organisation biologique et de visibilité des effets (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).**

GARREC et VAN HALUWYN, (2002), ont séparé ces trois concepts de celui de **bioaccumulateur**. En effet, en raison de la finalité de la biosurveillance de la pollution atmosphérique, ils démontrent que le végétal utilisé en bioaccumulation sert principalement de matrice pour le dosage de différents polluants suite à des mécanismes de transfert et d'accumulation. Le végétal devient un « capteur vivant » et non plus un modèle d'étude de phénomènes biologiques résultants de l'accumulation. Les auteurs font référence à des mécanismes de dépôt, d'adsorption et d'absorption variables selon le niveau d'organisation du végétal : chez les lichens et les mousses, la priorité est donnée aux échanges ioniques ; chez les végétaux supérieurs, la présence d'une cuticule le plus souvent rugueuse et riche en cires donne toute son importance aux phénomènes de rugosité de surface et/ou lipophilie.

### III.1.2.1. Biomarqueur

Nous retiendrons la définition de LAGARDIC *et al.* (1997) : « Un biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant ».

Il est nécessaire de signaler qu'il n'y a pas de standardisation officielle mais il y a cependant un consensus scientifique sur le protocole opératoire. Selon son utilisation, il est tout à fait possible qu'un même outil puisse être considéré soit comme un test d'écotoxicité soit comme un biomarqueur (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

### III.1.2.2. Bio-indicateur

GARREC et VAN HALUWYN (2002) ont donné un sens très restrictif au terme de bio-indicateur dans la mesure où ils le considèrent comme un simple relais ne faisant référence qu'à des effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction). Cette utilisation ne concerne d'une part, que des polluants fortement phytotoxiques ou présents à des concentrations élevées et d'autre part, que des végétaux « sensibles ».

Cette méthode visuelle est une méthode particulièrement rapide, simple et économique.

Ces deux concepts (biomarqueur et bio-indicateur) peuvent être assimilés à celui de « espèce indicatrice » attribué par BLANDIN, (1986), pour toute situation où le diagnostic s'appuie sur l'étude d'une seule espèce quelle que soit la nature de la variable prise en compte (BLANDIN, 1986; GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

### III.1.2.3. Bio-intégrateur

Avec ce concept, on aborde la notion de variation densitaire, de variation spécifique dans des populations et/ou écosystèmes. Les propos d'ÉCHAUBARD (1995) concernant le monde animal peuvent être facilement transposés au monde végétal : « toute disparition ou apparition d'une espèce, toute modification de l'abondance relative d'une espèce, toute modification de la structure des peuplements végétaux d'un écosystème signifie une modification de l'environnement de cette espèce. Toute chose étant égale par ailleurs, l'introduction d'un polluant dans le milieu, peut donc jouer le rôle d'un facteur perturbateur, modifiant la structure des peuplements végétaux » (ÉCHAUBARD, 1995).

La bio-intégration prend vraiment toute sa valeur et sa fonction dans des études soit diachroniques (nécessité dans ce cas d'un certain temps de recul) ou synchroniques (nécessité de comparer des territoires différents pendant une période donnée).

Ce concept de bio-intégrateur se rapproche de ceux « d'indicateurs écologiques » ou de « végétaux sentinelles » développés par BLANDIN (1986), « pour une population ou un ensemble de populations qui par ses caractéristiques qualitatives et/ou quantitatives témoigne de l'état d'un système écologique et qui, par des variations de ses caractéristiques, permettent de détecter d'éventuelles modifications de ce système ». (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

#### **III.1.2.4. Bioaccumulateur**

Selon RAMADE (1993), la bioaccumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire si elle est toxique à ce dernier. GARREC et VAN HALUWYN (2002), ont y ajouté que cette substance se retrouve dans l'organisme à des concentrations supérieures aux concentrations moyennes observées dans l'air (facteur d'accumulation).

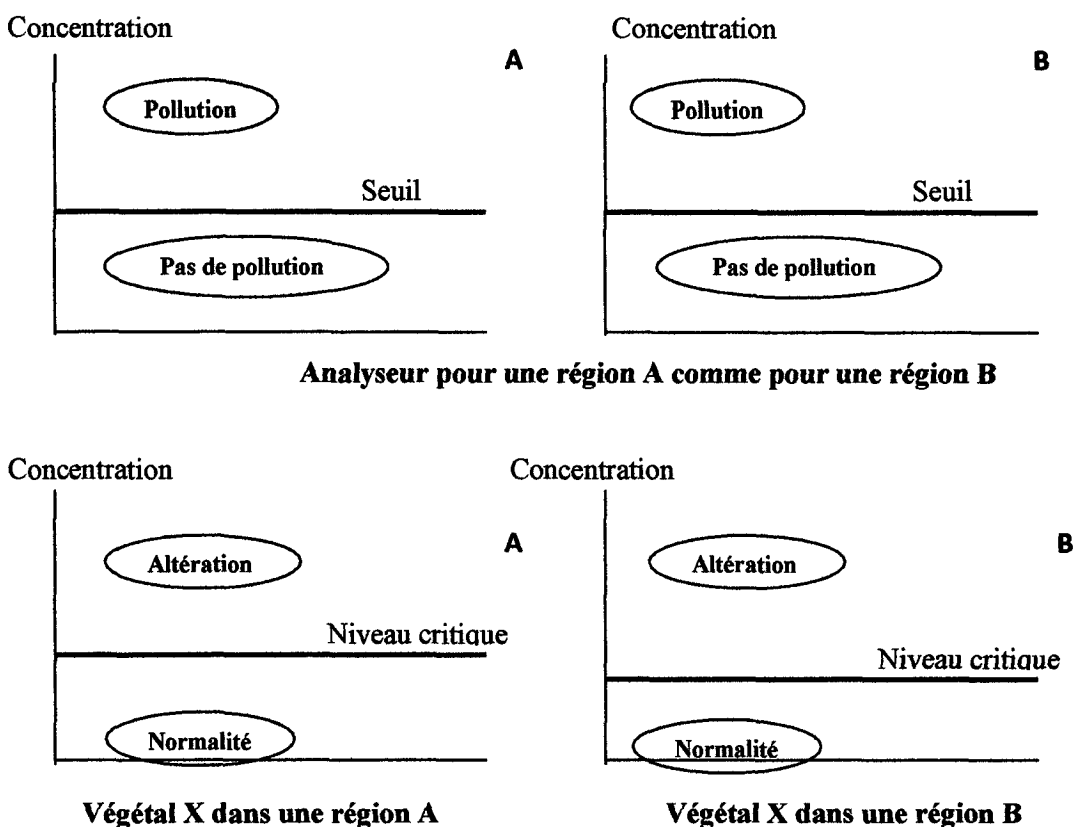
La bioaccumulation est un équilibre dynamique entre l'air et la plante mais avec une constante de temps variable dépendant de la plante, de sa biomasse, de la vitesse de métabolisation du polluant ou de sa vitesse de dépôt (le soufre, l'azote, le chlore sont des polluants rapidement métabolisables). Pour des éléments toxiques, on aura recours à des végétaux les plus résistants possible pour ne pas perturber les phénomènes d'accumulation (GARREC et VAN HALUWYN, 2002 ; RAMADE, 1993).

### **III.2. Biosurveillance de la pollution atmosphérique**

Les biomarqueurs végétaux, les végétaux bio-indicateurs et les bio- intégrateurs qui ont des processus biologiques perturbés par la pollution atmosphérique, fournissent avant tous des informations intégrées dans le temps sur des doses de polluants présents dans l'air.

A l'inverse, les végétaux bioaccumulateurs fournissent des informations directement reliées aux concentrations en polluants dans l'atmosphère. Ces informations reflètent bien les caractéristiques de l'air car elles résultent d'un équilibre dynamique entre celui-ci et le végétal. En effet, de nombreux facteurs internes ou externes aux végétaux tendent à éliminer en permanence les polluants accumulés : augmentation de la biomasse, métabolisation, pluvio-lessivage, etc. Cependant, ces informations ne sont jamais instantanées car il faut tenir compte d'un temps d'équilibre entre l'atmosphère et le végétal.

Néanmoins, la biodétection végétale par sa nature « biologique » ne peut fournir d'une manière faible que des informations relatives sur les concentrations en polluants dans l'atmosphère. (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).



**Figure 15 : Comparaison entre la notion de seuil et la notion de niveau critique d'impacte des polluants en biosurveillance (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).**

En générale, les méthodes de biosurveillance permettent d'intégrer une longue période de suivi. Ces méthodes sont simples de mise en œuvre et peu coûteuses, mais sont en revanche délicates d'emploi (facteurs d'incertitudes). Concernant la mise en place du programme de surveillance tel qu'exigé par la réglementation, l'exploitant aura recours à des méthodes quantitatives, c'est-à-dire permettant de déterminer la concentration des dioxines, furanes et métaux lourds dans l'environnement.

Les méthodes qualitatives peuvent être néanmoins des outils complémentaires aux méthodes quantitatives dans le cadre de la mise en place du programme de suivi. C'est ce qui est d'ailleurs fait pour la détermination de l'indice de qualité de l'air pour la méthode de dosage dans l'air ambiant. Notamment pour les lichens, la méthode de comptage est en générale une étape préalable à la méthode de dosage (CHASSAGNAC, 2005).

### III.3. Domaines d'application de la bio détection vis-à-vis des polluants

Le paramètre qui va conditionner le domaine d'application de la méthode de biodétection est la phytotoxicité du polluant à étudier.

Cependant, dans la réalité, ce paramètre doit être modulé :

- d'une part, par la concentration dans l'atmosphère du polluant à détecter ;
- d'autre part, par la sensibilité à ce polluant du végétale biodétecteur.

Les domaines d'application sont multiples; par l'utilisation des végétaux supérieurs, des bryophytes ou des lichens.

Il est vrai que les lichens présentent des particularités morphologiques et structurales auxquelles ils doivent ce pouvoir accumulateur de choix, n'ayant ni racines ni tiges, ni feuilles, ni appareil conducteur, ils sont capables d'effectuer une régulation hydrique, ils sont soumis aux fluctuations du milieu, absorbent sans distinction des quantités importantes de substances prélevées dans l'atmosphère (CEBURNIS et VALIULIS, 1999; ZAMBRANO et NASH, 2000).

Le tableau 2 indique, à partir d'un regroupement des principaux polluants en 4 classes, l'utilisation des lichens en biosurveillance de la qualité de l'air comme un des domaines actuels d'application classique des méthodes de biosurveillance végétale.

Pour les polluants gazeux de la classe I qui donnent des effets directs visibles avec des réponses rapides au niveau individuel, l'utilisation de bio-indicateurs semble la solution la plus appropriée. Cependant, avec la diminution actuelle des concentrations atmosphériques de beaucoup de ces polluants, l'utilisation des processus de bio-indicateurs devient de plus en plus problématique. Il faut alors aller chercher une aide de côté des méthodes utilisant des processus de détection beaucoup plus sensibles comme les processus biologiques des biomarqueurs ou les processus physiques des bioaccumulateurs.

Pour les polluants de la classe II dont la plus faible phytotoxicité entraîne des réponses lentes au niveau des végétaux biodétecteurs.

Pour les polluants de la classe III et de la classe IV peu phytotoxiques *a priori*, la bioaccumulation devient la seule méthode utilisable en routine bien que les auteurs notent une forte émergence de l'utilisation des biomarqueurs et plus principalement des biomarqueurs d'exposition précoce.



**Tableau 2 : Utilisation actuelle des lichens en biosurveillance de la qualité de l'air (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).**

| Classe I   | Classe II  | Classe III   | Classe IV  |
|--|--|--|--|
| <b>Polluants gazeux très phytotoxiques</b><br>HF, O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>   | <b>Dépôts secs ou humides de polluants moins phytotoxiques : dépôts acides et azotés (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)</b>                                | <b>Eléments traces métalliques</b>                   | <b>Polluants organiques</b>                          |
| <b>Bio-indication/Bio-intégration</b>  | <b>Bio-intégration/bio-indication</b><br>(indices d'acidophilie et de nitrophilie)<br><b>Bioaccumulation</b><br>de l'azote<br>Approche passive et active | <b>Bioaccumulation</b><br>Approche passive et active | <b>Bioaccumulation</b><br>Approche passive et active |
| <b>Émergence de la notion de qualité globale</b>   |  |  |  |
| <b>Bio-intégration</b> (indice de qualité globale de l'air, Valeurs de diversité lichénique, Diagnostic écolichénique de la qualité de l'air...)<br>On voit apparaître l'utilisation de plus en plus fréquente des <i>biomarqueurs</i> . |  |  |  |

- aux concentrations réellement mesurées dans l'atmosphère.

#### III.4. Méthodes d'estimation des effets de la qualité de l'air sur les lichens

Les lichens se sont avérés très utiles pour surveiller non seulement l'augmentation mais aussi la diminution des teneurs en polluants atmosphériques en générale. Par conséquent, les études se sont multipliées et ont été consacrées à l'estimation des effets de la pollution atmosphérique sur les lichens. Une première voie de recherche majeure a été la cartographie des communautés lichéniques, basée sur le fait que des variations au sein de ces communautés, notamment au niveau des fréquences spécifiques, pouvaient être associées à des polluants atmosphériques spécifiques et dans certains cas à leurs concentrations (HAWKSWORTH et ROSE, 1970). Une seconde voie de recherche a été de comprendre les changements morphologiques, anatomiques et physiologiques des lichens en réponse à des polluants atmosphériques (SIGNORET, 2002).

Partie II

***PARTIE EXPÉRIMENTALE***

Chapitre IV

***MATÉRIEL ET MÉTHODES***

## Chapitre IV : MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'objectif global de l'étude est de faire une estimation des taux de pollutions dans la région de Taher afin de pouvoir évaluer la qualité de l'air. Pour l'échantillonnage et la sélection des sites, c'est la méthode passive de la biosurveillance qui a été adoptée.

### IV.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude a été choisie en tenant compte de son accessibilité, mais surtout de sa situation par rapport aux sources de pollution.

#### IV.1.1. Situation géographique

Notre zone d'étude est localisée dans la région de Taher située à 18 Km à l'Est du chef lieu de la wilaya de Jijel, se trouvant au Nord-Est de l'Algérie, elle est située à 360 Km à l'Est de la capitale Alger et s'étend sur une superficie de 2398,69 Km<sup>2</sup> avec une façade maritime de 120 Km.



Figure 16 : Situation géographique de la zone d'étude (Taher) (Carte des limites administratives de la wilaya de Jijel, 1997).

### IV.1.2. Sources de pollution dans la zone d'étude

Le problème de la pollution atmosphérique à Taher, Wilaya de Jijel, est lié à la présence de plusieurs unités industrielles et à un trafic routier intense, facteur qui favorise l'accumulation et la stagnation des polluants atmosphériques et expose par conséquent les habitants à un risque sanitaire.

### IV.1.3. Types de pollution

Les types de pollutions dans notre zone d'étude sont multiples, les unités industrielles rejettent, en quantités variables, beaucoup de polluants dans l'atmosphère. L'ensemble de tous les polluants émis forme une pollution "de fond". Le tableau ci-dessous (Tab. 3) résume les différents types de déchets avec l'activité responsable et la typologie des polluants.

**Tableau 3 : Types de pollution présente au niveau de la zone industrielle d'Ouled Salah selon les résultats de l'enquête.**

| Unité industrielle                        | Activité  | Types de déchets   |
|---|---|--|
| SARL AYACHI Lokman                        | Fabrication et transformation de marbre         | Déchets solides, boues.  |
| SNC AYACHI Essaid                         | Fabrication de carrelage                        | Boue, Casse de carrelage, déchets solides.   |
| Moulin Djendjen                           | Minoterie                                       | Poussières (paille).   |
| SARL Somemi (mécanique)                   | Mécanique de précision                          | Fer, oxyde d'azote, dioxyde de soufre.   |
| SARL société d'industrie de liège et bois | Transformation de liège et bois                 | Les COV les poussières de bois : la créosote (traitement des bois), l'arsenic (traitement des bois)                      |
| AFTIS                                     | Boissons non alcoolisées                        | Déchets de fruits, Effluents liquides  |
| SARL Rimouche Zine Eddine                 | Transformation de verre                         | Déchets de verre, Effluents liquides   |
| NAFTAL                                    | Emplissage de la distribution de gaz butane B13 | Monoxyde de carbone (CO), Hydrocarbures imbrûlés (Cx), l'oxyde d'azote (NOx) et de plomb (Pb).                           |
| Africa verre                              | Production et fabrication de produits en verre  | Chrome, oxydes d'azotes, oxydes de soufre, le styrene, les silanes, les résines époxy, le CO <sub>2</sub> .              |
| EURL Djendjen industrie et commerce       | Fabrication et transformation de marbre         | Déchets solides, boues.  |
| Bitume Setif                              | Production de bitume                            | le méthane, l'anhydride sulfureux, Hydrocarbures le xylène, le benzène, le mercure, l'arsenic et d'autres hydrocarbures. |
| SARL Torchi bitume                        | Production de bitume                            | le méthane, l'anhydride sulfureux, Hydrocarbures le xylène, le benzène, le mercure, l'arsenic et d'autres hydrocarbures. |

#### IV.1.4. Climatologie

Certains paramètres climatiques sont pris en considération dans notre étude car ils ont un rôle particulièrement important dans la diffusion et le transport des polluants et impuretés.

La Wilaya de Jijel est soumise à un climat méditerranéen comportant des étés secs et tempérés et des hivers doux et humides.

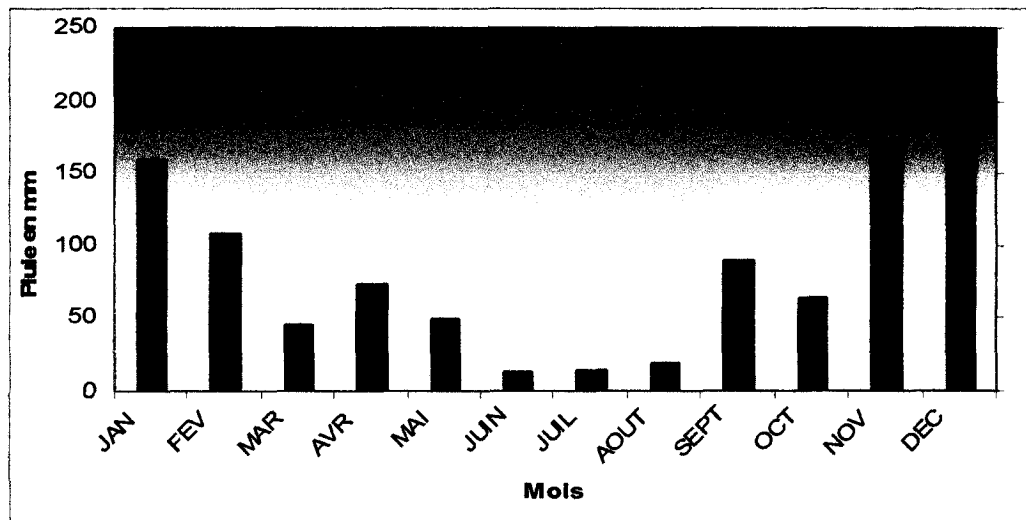
- les températures varient entre 20 et 35 °C en été et 5 à 15 °C en hiver.
- la saison de pluies dure 6 mois environ avec une moyenne de 1200 mm/cm de précipitations. Cela fait que Jijel détient le record de la pluviométrie en Algérie, ce qui lui assure d'importantes ressources en eaux superficielles.

Les valeurs mensuelles de la pluviométrie et de la température durant la période (1997-2006) sont consignées dans le tableau 4 et les variations sont illustrées par les figures 17 et 18.

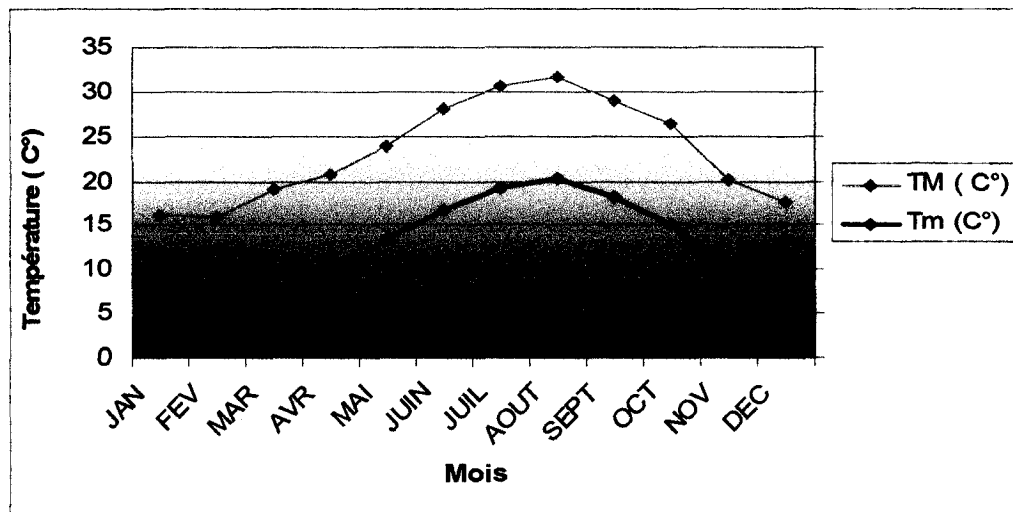
Lors des précipitations, les quantités de polluants primaires et secondaires présents dans l'atmosphère chutent. On parle de lessivage de l'atmosphère, pouvant entraîner d'importantes fluctuations lors d'une même journée. La température est aussi un paramètre déterminant des processus photochimiques. Elle influence le taux d'émission des précurseurs et la vitesse de nombreuses réactions chimiques (ASCOPARG, 1995).

**Tableau 4 : Moyennes mensuelles de Température (°C) et des précipitations (mm) à Jijel, période 1997 - 2006 (Office Nationale de la Météorologie - O.N.M -).**

| MOIS      | TEMPERATURES (C°) |              |         | PLUIES<br>(mm) |
|-----------|-------------------|--------------|---------|----------------|
|           | MINIMALE (Tm)     | MAXIMALE(TM) | MOYENNE |                |
| Janvier   | 06.41             | 16.19        | 11.30   | 160.2          |
| Février   | 06.06             | 16.00        | 11.03   | 107.3          |
| Mars      | 08.01             | 18.99        | 13.50   | 45.80          |
| Avril     | 09.68             | 20.83        | 15.25   | 73.80          |
| Mai       | 13.34             | 23.87        | 18.60   | 49.50          |
| Juin      | 16.73             | 28.02        | 22.37   | 12.40          |
| Juillet   | 19.24             | 30.53        | 24.88   | 13.40          |
| Août      | 20.30             | 31.60        | 25.95   | 18.20          |
| Septembre | 18.20             | 28.84        | 23.52   | 89.50          |
| Octobre   | 15.16             | 26.37        | 20.76   | 63.70          |
| Novembre  | 10.24             | 20.06        | 15.15   | 172.6          |
| Décembre  | 13.40             | 17.62        | 12.81   | 191.2          |



**Figure 17 : Répartitions mensuelles des précipitations (mm) à Jijel, période 1997 - 2006 (Office National de la Météorologie - O.N.M -).**



**Figure 18 : Variations mensuelles de la température (°C) à Jijel, période 1997 - 2006 (Office National de la Météorologie - O.N.M -).**

A partir des données précédentes de précipitation et de température, on peut déterminer la période sèche de l'année par le biais de diagramme ombrothermique de GAUSSEN (1952).

GAUSSEN considérait que l'effet positif de 2 mm de précipitations est annulé par une augmentation de température de 1°C, et ils ont proposé le rapport :  $P / 2T$  (où : P = Précipitation en mm et T = Température en °C), avec :

- période sèche estivale ( $P/2T < 1$ ) durant laquelle on constate que les précipitations sont rares et faibles, et les températures sont élevées.
- période non-sèche (humide) qui comprend une partie froide et pluvieuse (GUYOT, 1999).

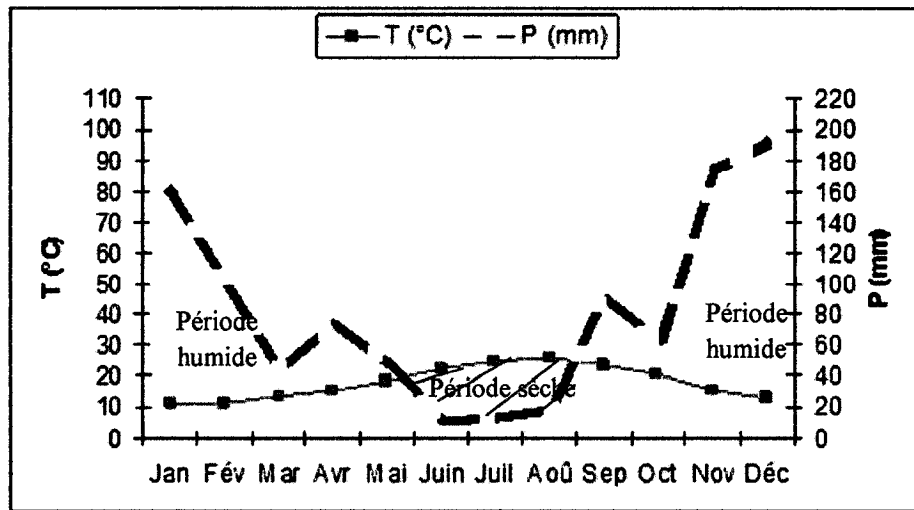


Figure 19 : Diagramme ombrothermique de Gausson pour la région de Jijel, période 1997-2006.

- la rose des vents nous a permis de mettre en évidence une direction dominante du vent de Nord (Figure 20).

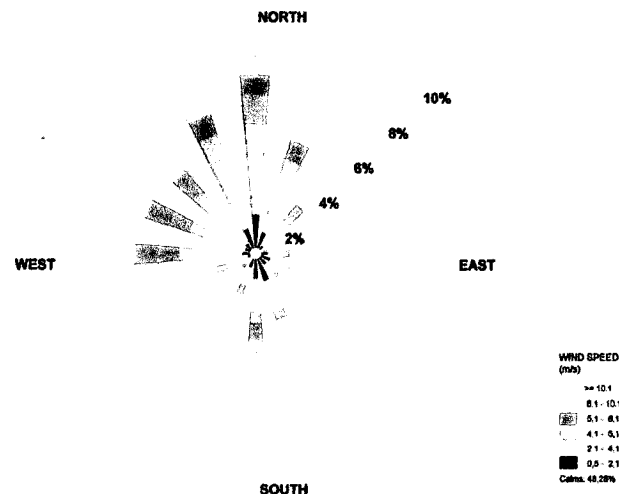


Figure 20 : La rose des vents annuelle de la région de Jijel, période 1988 - 2007 (Office National de la Météorologie, 2009).

## IV.2. Travail sur le terrain

Une estimation spatiale et ponctuelle des niveaux de pollution dans la zone d'étude est effectuée par la méthode passive.

## IV.3. Stations de biosurveillances

### IV.3.1. La stratégie d'échantillonnage

Nous avons adopté une stratégie d'échantillonnage se basant sur les travaux de GARREC et VAN HALUWYN, (2002).



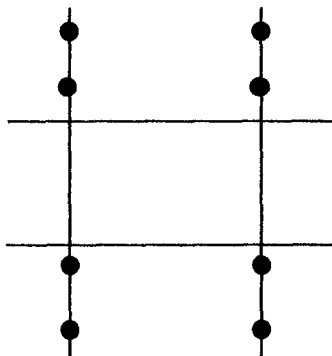
La stratégie d'échantillonnage (détermination des unités de prélèvement et/ou d'observation, la sélection des supports) a toujours été parfaitement définie dans les différents protocoles opératoires de manière à répondre aux critères d'analyses de données. Quoiqu'il en soit, différents protocoles de sélection des sites et des supports peuvent être utilisés en fonction de la situation à la quelle on est confronté et en fonction des objectifs à atteindre. Deux impératifs sont cependant incontournables, ce sont l'homogénéité et la non-subjectivité dans la sélection des sites et des supports. Cette règle s'applique à tous les « outils » (lichens, bryophytes, végétaux, etc.) et à toutes les techniques (bio-indication, bioaccumulation, approche passive et active).

Dans notre cas, sources ponctuelles ou linéaires (exemple : usine, autoroute, bâtiment avec une activité polluant, etc.), l'emplacement des stations de bio-indication est déterminé à partir de transects autour de la source en fonction de la direction des vents dominants.

Le nombre de stations va dépendre de la distance que l'on va choisir entre chaque station le long du transect, cette distance peut augmenter lorsqu'on s'éloigne de la source de pollution et, de la surface à étudier ainsi que la nature du terrain.

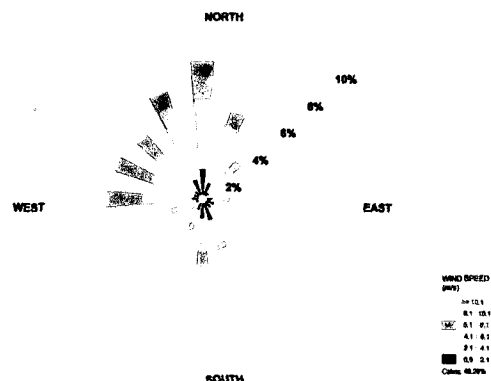
On se basant aussi sur les travaux de BOUDREAU, (2008), des transects perpendiculaires aux coupes ont été établis dans la zone d'étude comme le montre clairement la figure 21 et 23.

Le choix des transects est fonction de la direction des vents dominants. Effectivement, la zone d'étude est dans le couloir des vents dominants (fig. 23).

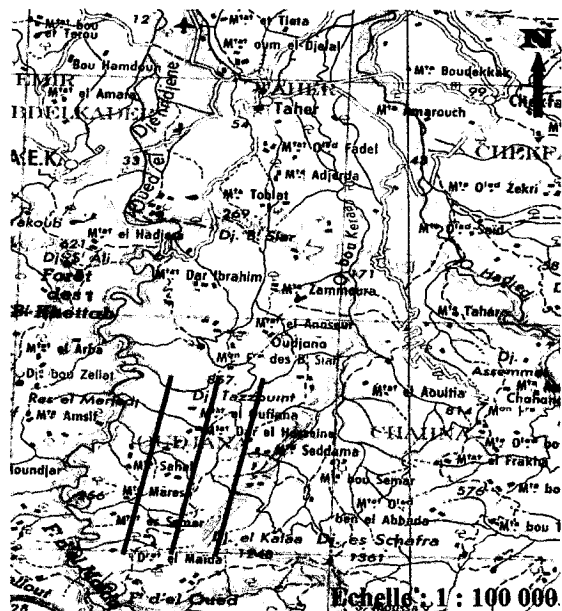


**Figure 21 : Transects perpendiculaires et emplacements des stations d'études (●).**

- Source linéaire de pollution.



**Figure 22 : La rose des vents annuelle de la région de Jijel, période 1988 à 2007 (office national de la météorologie, 2009).**



**Figure 23 : Localisation de transects. (Carte des limites administratives de la wilaya de Jijel, 1997).**

Les stations échantillonnées sont aussi en fonction de l'altitude et sont loin de la zone industrielle Ouled Saleh dans la région d'Oudjana à Taher.

Selon la méthode utilisée (transect), la distance entre deux stations d'étude est dans la majorité des cas comprise entre quelques dizaines de mètres et quelques centaines de mètres (1 km à 1,5 km, au maximum).

#### IV.3.2. Choix des sites

En générale, pour mieux connaître l'influence de la pollution de la zone industrielle de Ouled Salah sur l'écosystème, il est important de mettre en place des réseaux de prélèvement, en essayant de choisir des sites non exposés directement, en nombre suffisants.

Dans la région d'Oudjana-Taher, nous avons opéré de telle manière à avoir des sites loins des sources ponctuelles de la pollution, nous avons retenu trois transects (Figure 23).

La densité des stations est à définir dès le départ car elle est fonction des dimensions des transects, mais aussi de la topographie, de la climatologie et de l'occupation de l'espace, voire du statut juridique (statut de propriété) (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

Après des évaluations préliminaires par la consultation de la documentation et des personnes ressources, cinq (5) sites ont été retenus pour cette d'étude :

- Souk Letnine, situé à 900 m d'altitude avec une exposition Sud-Ouest et direction Nord-Ouest. Les prélèvements ont été effectués le 09/03/2011.
- Khnak Ladjmaà, situé à 971 m d'altitude avec une exposition Sud-Ouest et direction Nord-Ouest. Les prélèvements ont été effectués le 09/03/2011.
- Ouled Brahem, situé à 500 m d'altitude avec une exposition Nord-Est et direction Nord-Est. Les prélèvements ont été effectués le 09/03/2011.
- L'ahwat, situé à 200 m d'altitude avec une exposition Nord et une direction Nord-Ouest. Les prélèvements ont été effectués le 12/03/2011.
- El Mayda, situé à 300 m d'altitude avec une exposition Nord -Est et direction Nord-Est. Les prélèvements ont été effectués le 12/03/2011.

Le choix des sites de prélèvement est principalement basé sur l'accessibilité du site et la présence, ou non, des sources de polluants susceptibles de modifier la qualité de l'air des stations. Ce choix permet autant que possible de mettre en évidence l'impact des rejets atmosphériques de la zone industrielle située en face de ces sites.

Ces sites sont répartis sur une distance d'environ 6 km allant de Taher jusqu'à Oudjana. Sur chaque site, différents points de prélèvement ont été retenus.

#### IV.3.3. Prélèvement des lichens in situ

Pour l'utilisation des lichens en tant que bioaccumulateurs et bioindicateurs, nous nous référons aux protocoles proposés par VAN HALUWYN et LEROND, (1986) ainsi qu'à celui proposé par ASTA *et al.*, (2002).

Les lichens sont prélevés à savoir une répartition large et homogène des espèces récoltées, la possibilité de récolter suffisamment abondantes, des zones de prélèvement caractéristiques du site étudié. En règle générale, ce sont des thalles entiers, de taille sensiblement égale (donc *a priori*, de même âge), qui sont prélevés. Les capacités d'accumulation sont fonction de l'âge du lichen, de plus, il existe une étroite corrélation entre l'âge du lichen et la taille du thalle. Toutefois, il ne faut pas prendre de vue que les vitesses de croissance seront fortement influencées par les conditions environnementales locales d'où la difficulté d'extrapoler l'âge du lichen à partir de sa taille.

Le Matériel utilisé lors du prélèvement se compose de :

- une carte pour la prise des coordonnées géographiques des sites de l'étude;
- des couteaux et ciseaux pour prélever les lichens et racler si nécessaire ceux attachés aux troncs d'arbres ;

- des sacs en papier,
- un appareil photo numérique pour prendre des photos de stations, d'arbres et de lichens ;
- un cahier de rapport pour les prises de notes.

- **choix des phorophytes**

Le choix des phorophytes se porte sur les essences connues pour être de bons porteurs des lichens (chênes, frênes, peupliers ...). Il faut éviter les arbres bas-branchus, trop inclinés, endommagés, soumis au frottement du bétail (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

- **choix des espèces**

On priorisera les espèces épiphytes (se développant sur les écorces des arbres). Les espèces les plus souvent citées dans la littérature sont : *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia caperata*, *P. sulcata*, *Pseudevernia furfuracea*, *Xanthoria parietina*.

Les lichens fruticuleux (*Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea*) semblent préférables aux lichens foliacés, car d'une part, ils sont facilement détachables du substrat et d'autre part, ils sont moins soumis à un apport provenant du substrat et d'un cours d'eau (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

- **nombre de prélèvements par site d'étude**

Dans chaque site, les espèces doivent être suffisamment abondantes. 6-12 thalles sont récoltés sur au moins 3-6 arbres (de même espèce et de même diamètre) à 1,5 m de hauteur sur le tronc (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

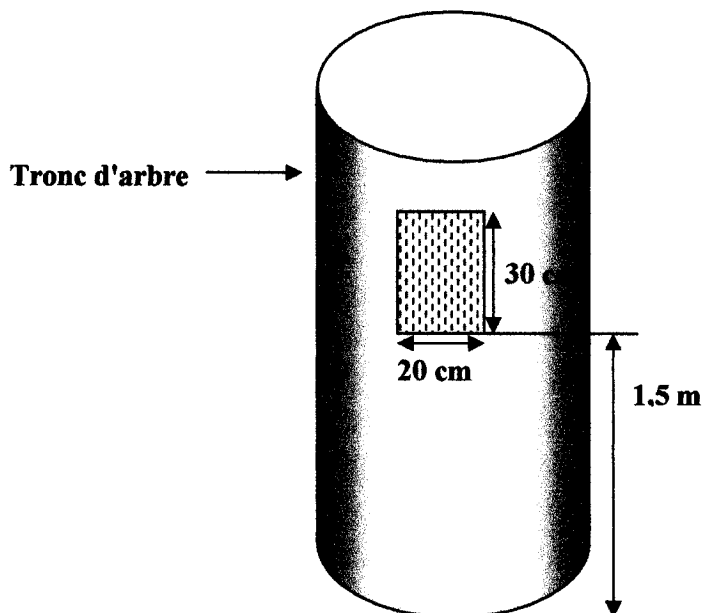


Figure 24 : Prélèvement des lichens à partir des arbres.

- **réalisation des prélèvements**

A chaque échantillonnage, on a détaché une partie des thalles sur le phorophyte à l'aide d'un couteau. Les échantillons prélevés sont placés dans des sachets en plastique, fermés à l'aide d'un élastique afin de limiter les pertes d'eau par évapotranspiration jusqu'à l'arrivée au laboratoire (ALIOUA *et al.*, 2008).

- on évitera les récoltes par le temps de brouillard et pluie. Dans la littérature, il est préconisé de faire les prélèvements en automne ou en hiver ;
- les échantillons seront soigneusement référencés.
- lors des prélèvements sur écorce, il est impératif de colmater les blessures infligées au tronc par du mastic à greffer (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

- **préparation des échantillons**

Quelle que soit la technique utilisée (thalles entiers ou parties externes des thalles), les lichens sont nettoyés très méticuleusement sous la loupe binoculaire. Les échantillons sont séchés à température ambiante (éviter toute contamination par des poussières extérieures) ; après séchage, les échantillons sont stockés le moins longtemps possible jusqu'à l'analyse.

#### IV.4. Identification des espèces lichéniques

L'identification des espèces est d'abord effectuée par observation des caractéristiques morphologiques générales, telles que la forme, la couleur, la hauteur, l'orientation des extrémités et le type de ramification. Ces observations sont comparées avec la description des espèces signalées par la littérature, la nomenclature est basée sur celle de OZENDA et CLAUZADE, (1970); SÉRUSIAUX *et al.*, (2004); BRODO *et al.*, (2001). L'identification est par la suite confirmée par les réactions colorimétriques, qui donnent selon l'espèce des réactions différentes, tel que décrit le tableau 5.

**Tableau 5 : Test de coloration thalline.**

| Espèces<br>Coloration        | <i>Cladonia furcata</i> | <i>Xanthoparmelia hypomelaena</i> | <i>Cladonia synphycarpia</i> | <i>Cladonia furcata</i> |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Eau de javel diluée (1/10ml) | -                       | -                                 | -                            | -                       |
| KOH (2g/20ml)                | +<br>jaune              | +<br>marron                       | +<br>jaune                   | +<br>jaune              |
| Acide nitrique               | +<br>jaune              | +<br>orange                       | +<br>vert                    | -                       |
| Lygol (Iode)                 | -                       | -                                 | +<br>vert                    | -                       |

## IV.5. Calcul de la surface de recouvrement

Pour chaque relevé, une surface de recouvrement de la végétation est estimée en pourcentage, par rapport à la surface totale du relevé. Chaque espèce du relevé est affectée d'un coefficient de recouvrement (abondance-dominance) attribué selon l'échelle de (BRAUN-BLANQUET, 1964).

(+) : individus très peu nombreux avec un recouvrement inférieur à 1 %

(1) : individus peu nombreux avec un recouvrement de 1 à 5 %

(2) : recouvrement de 5 à 25 %

(3) : recouvrement de 25 à 50 %

(4) : recouvrement de 50 à 75 %

(5) : recouvrement supérieur à 75 %.

## IV.6. Travail au laboratoire

### IV.6.1. Dosage des métaux lourds

Dans cette étude, 5 métaux sont dosés : Cd, Cu, Zn, Pb, Mn.

- pour la minéralisation une quantité de 50 mg de lichen en poudre tirés des différentes stations est mise dans des tubes à essai, auxquels est rajouté 3 ml d'un mélange de 2 ml de HNO<sub>3</sub> et 1 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, puis sont laissés au noir pour une durée de 48 h.

- le dosage des métaux par spectrophotométrie d'absorption atomique sera effectué après la filtration des échantillons liquides.

Le spectrophotomètre d'absorption atomique est de type SHIMADZU AA-6200 (LOPPI et PIRINTSOS, 2003).

### IV.6.2. Dosage de l'MDA

A un mélange de 50 mg de lichens broyés et 2,5 d'eau distillée, sont rajoutés 2,5 ml d'acide thiobarbiturique (TBA) 0,5 % et une solution d'acide tichloracétique (TCA). La solution obtenue est incubée pour 30 minutes à une température de 95 °C, puis passée à un bain froid à fin d'arrêter toute réaction possible. La lecture de super nageant à 532 nm nécessite une centrifugation à 10 000 tours pendant 30 minutes.

La valeur de l'absorption non spécifique lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 600 nm sera par la suite soustraite du résultat obtenu de la lecture.

Le taux d'MDA est ensuite calculé en utilisant la formule suivante, les valeurs sont estimées par  $\mu \text{ ml g}^{-1}$ .

$$\text{D.O.} \times 155 \text{ Mm}^{-1}$$

Où : D.O. : Densité optique dans les longueurs d'onde 532 et 600 nm.

#### IV.6.3. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle est obtenue chez les lichens par le broyage, dans un mortier, de 100 g de thalle séché avec 50 mg de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), rajoutés à 9,7 ml d'acétone 80% dans des tubes à essai.

La solution est filtrée et conservée à l'obscurité pendant 1 heure pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. La lecture de la chlorophylle se fait à deux longueurs d'onde : 645 nm et 663 nm avec l'acétone 80 % comme blanc.

La teneur pouvoir de la chlorophylle est déterminée selon la formule d'ARNON (1949) :

$$\text{Chl. } a = 12.7 (\text{D.O. } 663) - 2.59 (\text{D.O. } 645)$$

$$\text{Chl. } b = 22.9 (\text{D.O. } 645) - 4.68 (\text{D.O. } 663)$$

$$\text{Chl. } a + \text{Chl. } b = 8.02 (\text{D.O. } 663) + 20.2 (\text{D.O. } 645)$$

Ou : Chl. *a* : chlorophylle *a*.

Chl. *b* : chlorophylle *b*.

Chl. *a* + *b* : chlorophylle totale.

D.O. : densité optique (valeurs données par le spectrophotomètre aux longueurs d'onde 645 nm et 663 nm) (GONZÁLEZ et PIGNATA, 2000).

#### IV.6.3. Dosage de la phaeophytine

0,3 ml d'un mélange d'acide oxalique 80 % et d'acétone 80 % (v/v) est additionné à 9,7ml de l'extrait de la chlorophylle de chaque échantillon, les densités optiques sont en suite lues aux mêmes longueurs d'onde (645nm, 663nm) et les teneurs en phaeophytine *a* et *b* sont calculées selon la formule d'ARNON (1949).

$$\text{Phaeo. } a = 12.7 (\text{D.O. } 663) - 2.59 (\text{D.O. } 645)$$

$$\text{Phaeo. } b = 22.9 (\text{D.O. } 645) - 4.68 (\text{D.O. } 663)$$

$$\text{Phaeo. } a + \text{Phaeo. } b = 8.02 (\text{D.O. } 663) + 20.2 (\text{D.O. } 645)$$

Où : Phaeo. *a* : phaeophytine *a*.

Phaeo. *b* : phaeophytine *b*.

Phaeo. *a* + *b* : phaeophytine totale.

D.O. : densité optique (valeurs données par le spectrophotomètre aux longueurs d'onde 645 nm et 663 nm) (GONZÁLEZ et PIGNATA, 2000).

#### **IV.7. Calcul de facteur de contamination (CF)**

CARBALLERIA *et al.* (2000) ont élaboré le calcul d'un facteur de contamination (CF) afin d'évaluer l'état d'un écosystème et d'en suivre son évolution à partir d'un niveau de référence (GARREC et VAN HALUWYN, 2002) :

$$\text{CF} = \text{Cb}_2 / \text{Cb}_1$$

Où :  $\text{Cb}_1$  = concentration de polluant à un temps 1 ou dans un site 1 ;

$\text{Cb}_2$  = concentration de polluant à un temps 2 ou dans un site 2.



Chapitre V

**RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION**

## Chapitre V : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

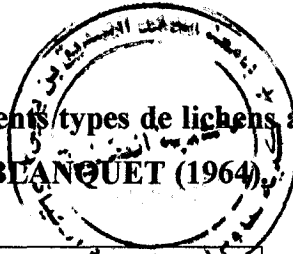
Ce chapitre comporte la présentation et l'interprétation des différents résultats collectés sur le terrain et ceux obtenus au laboratoire. Nous allons étudier le degré de la pollution par les métaux lourds, émise de la zone industrielle de Ouled Salah, en comparant les teneurs en métaux lourds dans les lichens au niveau de différents transects, différentes stations ainsi que l'effet accumulateur des lichens. Nous allons ensuite étudier les variations de concentration en polluants et leurs effets sur des paramètres physiologiques telle que l'MDA, la chlorophylle et la phaeophytine. Enfin on va utiliser ces résultats pour calculer le facteur de contamination de l'écosystème.

### V.1. Résultats

#### V.1.1. La surface de recouvrement

Une estimation de taux de recouvrement des arbres par différents types de lichens a été effectuée au niveau des différents transects et stations.

Tableau 6 : Estimation de taux de recouvrement des arbres par différents types de lichens au niveau de la quatrième et cinquième station d'étude, suivant BRAUN-BLANQUET (1964)



| Arbre | Station | Exposition  | Espèces présentes  | Taux de recouvrement     |
|-------|---------|-------------|--|--------------------------|
| 1     | 01      | Nord        | <i>Cladonia sp</i><br><i>Parmelia physodes</i><br><i>Xanthoria parietina</i>                                     | (3)<br>(2)<br>(+)        |
| 2     | 01      | Nord-Ouest  | <i>Parmelia sulcata</i><br><i>Buellia punctata</i>   | (5)<br>(+)               |
| 1     | 02      | Sud-Est     | <i>Parmelia physodes</i><br><i>Parmelia sulcata</i>  | (5)<br>(+)               |
| 1     | 03      | Ouest       | <i>Cladonia furcata</i><br><i>Xanthoria parietina</i>  | (2)<br>(+)               |
| 2     | 03      | Nord        | <i>Cladonia sp</i>   | (5)                      |
| 1     | 04      | Sud         | <i>Parmelia physodes</i><br><i>Parmelia sulcata</i><br><i>Xanthoria parietina</i>                                | (2)<br>(5)<br>(+)        |
| 2     | 04      | Nord        | <i>Xanthoria parietina</i><br><i>Cladonia furcata</i>  | (3)<br>(4)               |
| 3     | 04      | Nord        | <i>Cladonia furcata</i>  | (5)                      |
| 4     | 04      | Nord -Est   | <i>Cladonia furcata</i><br><i>Cladonia rangiferina</i>   | (5)<br>(+)               |
| 5     | 04      | Nord -Ouest | <i>Cladonia sp</i><br><i>Parmelia sulcata</i>  | (3)<br>(5)               |
| 1     | 05      | Sud         | <i>Xanthoria parietina</i><br><i>Parmelia physodes</i><br><i>Cladonia rangiferina</i><br><i>Virrucaria maura</i> | (2)<br>(4)<br>(2)<br>(+) |
| 2     | 05      | Nord - Est  | <i>Buellia punctata</i><br><i>Virrucaria maura</i>   | (5)<br>(2)               |

### V.1.2 Les métaux lourds

L'organisation mondiale de la santé désigne sous le nom de métaux lourds, tous les métaux présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement (RAMADE, 2000).

Les métaux lourds, plus particulièrement le Plomb, le Zinc et le Cuivre, font partie des cas de polluants représentant un problème environnemental majeur (JOURDAN *et al.*, 2005).

L'analyse quantitative des métaux lourds par l'absorption atomique chez des lichens prélevés dans différentes stations suivant les trois transects retenus, donne les résultats qui se présentent dans les tableaux 7, 8, 9, 10, 11, 12 et les figures 24, 25, 26, 27, 28 et 29 ci-dessous.

#### V.1.2.1. Résultats du dosage de Zinc

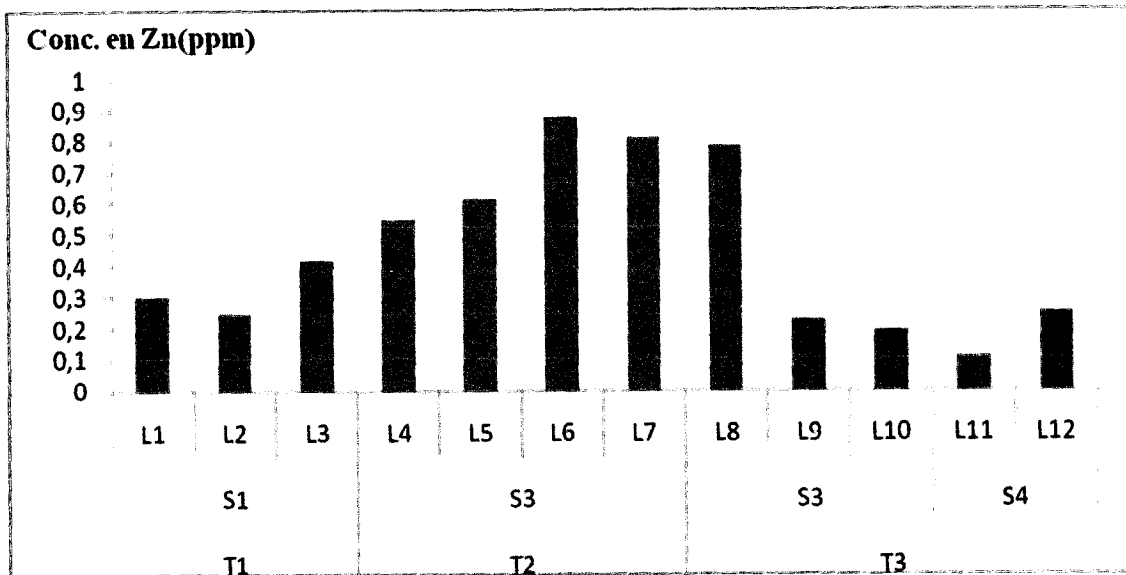
Le Zinc provient de la combustion du charbon et du fioul lourd mais aussi de certains procédés industriels appartenant à la métallurgie des ferreux et non ferreux ainsi qu'à l'incinération des déchets.

Les résultats du dosage de Zinc figurent dans le tableau 7.

**Tableau 7 : Concentrations respectives de Zinc (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

| Transects | Stations | Espèces | Zn (ppm) |
|-----------|----------|---------|----------|
| T1        | S1       | L1      | 0,299    |
|           |          | L2      | 0,244    |
|           |          | L3      | 0,414    |
| T2        | S3       | L4      | 0,545    |
|           |          | L5      | 0,611    |
|           |          | L6      | 0,878    |
|           |          | L7      | 0,811    |
| T3        | S3       | L8      | 0,786    |
|           |          | L9      | 0,223    |
|           |          | L10     | 0,191    |
|           | S4       | L11     | 0,104    |
|           |          | L12     | 0,246    |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



**Figure 25 : Teneurs en zinc (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

Les résultats montrent que les teneurs les plus élevées sont celles observées au niveau de la 3ème station (S3) du deuxième transect (T2) chez les lichens L6, L7 et L8 qui sont respectivement de 0,878 ppm, 0,811 ppm et 0,786 ppm et que les teneurs les moins élevées sont aussi trouvées chez des lichens, de cette même station, L9 et L10, ainsi que chez les lichens L11 et L12 appartenant à la quatrième station (S4) et au troisième transect (T3). Rien qu'en comparant les teneurs en Zn des lichens L8 et L9 à celles du lichen L10, ou les teneurs des lichens L9, L10, L11 et L12 en Zn à celles de lichen L8 ; nous pourrions déduire que pour une même station, elles sont remarquablement variables d'un lichen à un autre et qu'un même lichen est apte de présenter de très faibles teneurs en zinc et d'autres plus fortes voire très élevées d'une station à une autre pour un même transect, ce qui témoigne de la capacité des lichens à accumuler les polluants et de leur grande résistance face aux contaminations atmosphériques.

#### V.1.2.2. Résultats du dosage de Cadmium

Le cadmium rejeté dans l'environnement provient de sources naturelles et anthropiques.

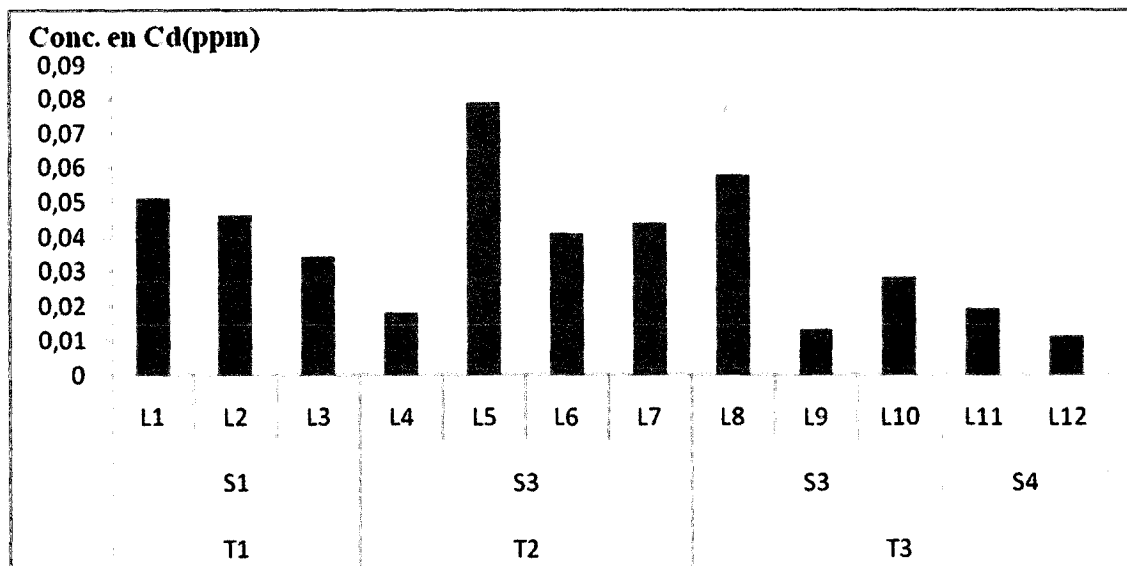
Le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Son origine, d'un point de vue industriel, est liée aux matières plastiques, huiles de moteurs, piles et aux les produits de stabilité thermique (DEBIECHE, 2002).

Les résultats du dosage de Zinc figurent dans le tableau 8.

**Tableau 8 : Concentrations de Cd (ppm) dans les lichens de différents sites et transects.**

| Transects | Stations | Espèces | Cd (ppm) |
|-----------|----------|---------|----------|
| T1        | S1       | L1      | 0,051    |
|           |          | L2      | 0,046    |
|           |          | L3      | 0,034    |
| T2        | S3       | L4      | 0,018    |
|           |          | L5      | 0,079    |
|           |          | L6      | 0,041    |
|           |          | L7      | 0,044    |
| T3        | S3       | L8      | 0,058    |
|           |          | L9      | 0,013    |
|           |          | L10     | 0,028    |
|           | S4       | L11     | 0,019    |
|           |          | L12     | 0,011    |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



**Figure 26 : Teneurs en Cd (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

L'estimation de la teneur en Cd des lichens révèle l'existence d'une très grande variabilité d'un lichen à l'autre qui ne semble pas être homogène même au sein des mêmes stations ou mêmes transects. Ces teneurs varient entre un minimum de 0,011 ppm et un maximum de 0,079 ppm.

Nous constatons qu'au niveau de la station (S3), se trouvant au deuxième transect (T2), les teneurs en Cd sont plus élevées que celles des deux autres stations du premier et troisième transects (S1, T1), (T3, S4) tandis que les teneurs de la station (S4) sont les plus faibles.

On signale que pour la même station (S3) les lichens présentent des variations différentes de concentrations à savoir L5 et L9, L4 et L8, Ce qui ne s'observe pas dans les autres stations (S1, S4), ainsi que pour le même transect tel (T3) chez les lichens L12 et L8 par exemple. Ceci pourrait être le résultat de l'exposition et l'orientation des arbres sur lesquels nos lichens ont été prélevés, comme l'avaient signalé OHARE et WILLIAMS en 1973 lorsqu'ils ont exposé de manières différentes des thalles de lichens au dioxyde de soufre (OHARE et WILLIAMS, 1973 ; in : BEDENEAU, 1982).

### V.1.2.3. Résultats du dosage de Plomb

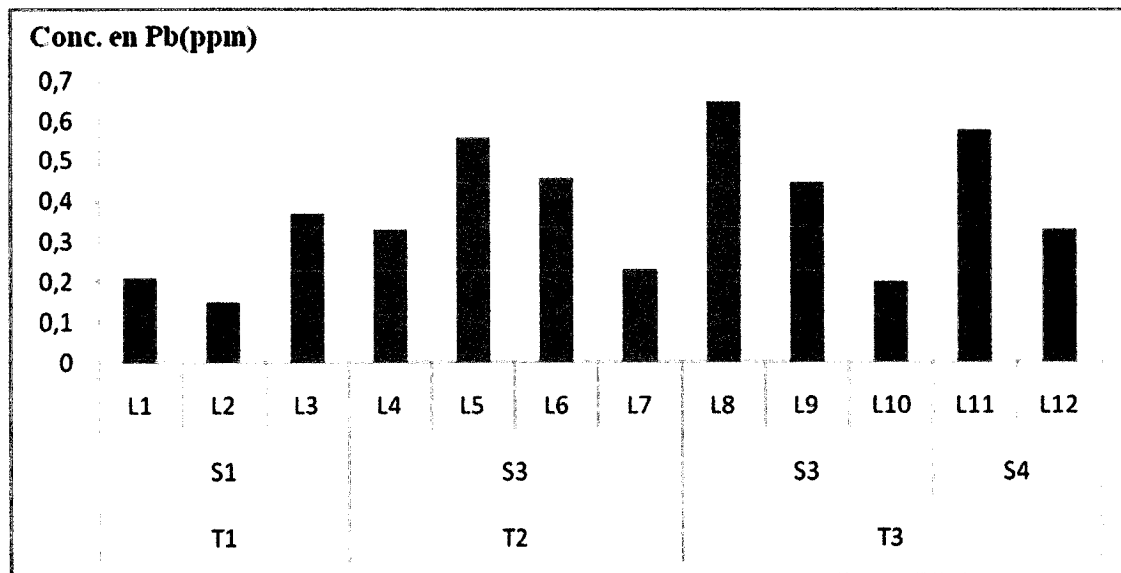
Le plomb est principalement émis par le trafic automobile. Les autres sources de plomb sont le résultat de la première et la seconde fusion du plomb, la fabrication de batteries électriques, la fabrication de certains verres (cristal), etc.

Les résultats du dosage de Zinc figurent dans le tableau 9.

**Tableau 9 : Concentrations respectives de Pb (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

| Transects | Stations | Espèces | Pb (ppm) |
|-----------|----------|---------|----------|
| T1        | S1       | L1      | 0,209    |
|           |          | L2      | 0,149    |
|           |          | L3      | 0,368    |
| T2        | S3       | L4      | 0,328    |
|           |          | L5      | 0,557    |
|           |          | L6      | 0,457    |
|           |          | L7      | 0,228    |
| T3        | S3       | L8      | 0,646    |
|           |          | L9      | 0,447    |
|           |          | L10     | 0,199    |
|           | S4       | L11     | 0,577    |
|           |          | L12     | 0,328    |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



**Figure 27 : Teneurs en Pb (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

En comparant les différentes stations et transects, on constate que dans une même station et/ou un même transect les variations de concentration en Pb (ppm) sont très variables d'un lichen à l'autre, prenons l'exemple de la teneur en plomb accumulée chez le lichen L2 qui est de 0,149 ppm qui diffère de celle trouvée chez L3 qui est de 0,368 ppm, L3 et L2 sont de la première station qui se trouve au premier transect.

Cela pourrait être expliqué par la variation du pouvoir accumulateur des lichens qui diffère d'une espèce à l'autre, et qu'un même lichen trouvé dans deux stations différentes pourrait accumuler des taux très variables de plomb selon que ce dernier ait été exposé directement ou pas aux sources de pollution, nous citons l'exemple des lichens L4 et L12 qui sont de la même espèce.

#### **V.1.2.4. Résultats du dosage de manganèse**

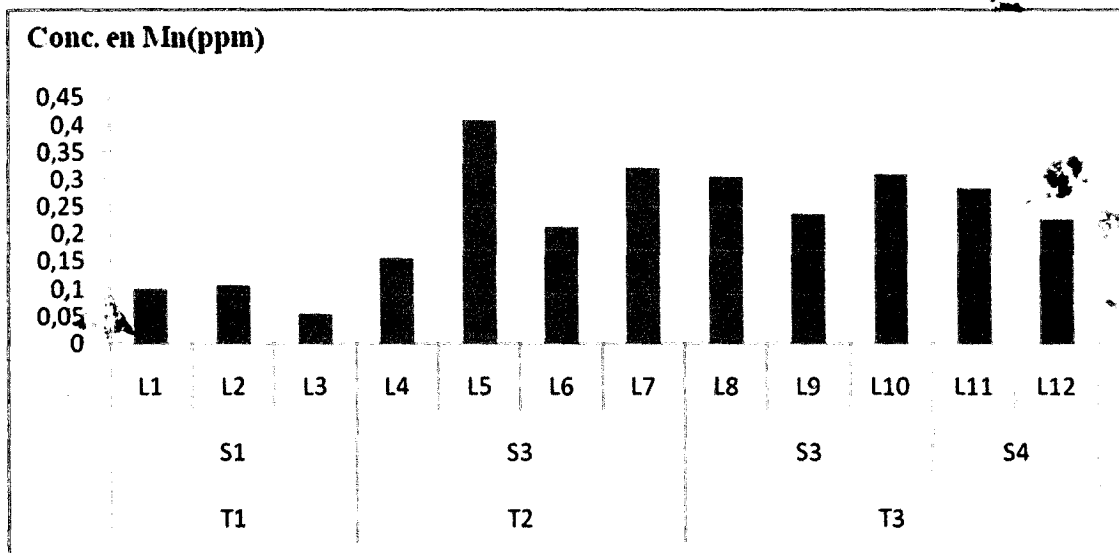
Le manganèse est naturellement contenu dans les constituants de l'écorce terrestre, roches cristallines et roches sédimentaires, qu'on appelle les roches mères. Sous l'action de l'érosion, ces roches s'altèrent et libèrent leurs éléments constitutifs que l'eau entraîne et transporte sous forme de solution ou de particules solides. Cet élément peut aussi être présent dans l'atmosphère, associé à de fines particules en suspension aériennes (EPEA, 2000).

Les résultats du dosage de Zinc figurent dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Concentrations de Mn (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

| Transects | Stations | Espèces | Mn (ppm) |
|-----------|----------|---------|----------|
| T1        | S1       | L1      | 0,098    |
|           |          | L2      | 0,106    |
|           |          | L3      | 0,055    |
| T2        | S3       | L4      | 0,155    |
|           |          | L5      | 0,407    |
|           |          | L6      | 0,211    |
|           |          | L7      | 0,321    |
| T3        | S3       | L8      | 0,303    |
|           |          | L9      | 0,236    |
|           |          | L10     | 0,309    |
|           | S4       | L11     | 0,283    |
|           |          | L12     | 0,227    |

L : lichen ; S : station ; T : transect.

**Figure 28 : Teneurs en Mn (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

Ces teneurs semblent plus ou moins homogènes aux niveaux des stations (S3) et (S4), ainsi qu'au niveau du deuxième et troisième transect et sont plus élevées que celles du premier. L'observation de la figure permet de constater que les variations de la concentration de cet élément sont faibles.

Cependant nous observons une légère augmentation dans les lichens L5, L7 et L10 qui sont respectivement de 0,407 ppm, 0,321 ppm, 0,309 ppm. La teneur minimale est observée au sein du premier transect chez le lichen L3 qui est de 0,055 ppm.

#### V.1.2.5. Résultats du dosage de cuivre

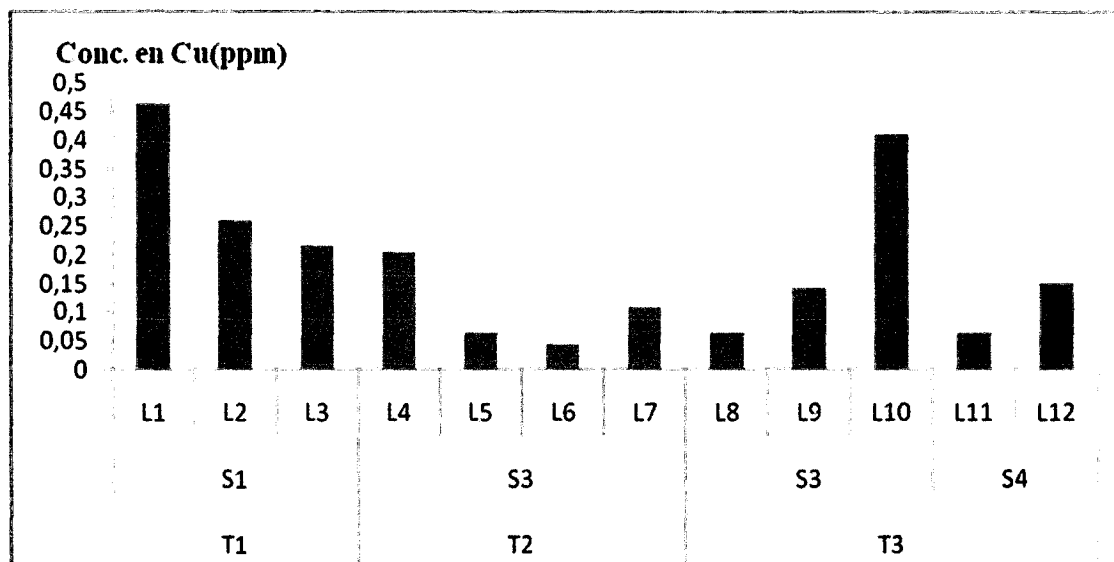
Le cuivre existe à l'état natif. Il se rencontre surtout sous forme de sulfures. Les résultats du dosage de cuivre sont représentés dans le tableau 11 et illustrés dans la figure 29.



**Tableau 11 : Concentrations du Cu (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

| Transects | Stations | Espèces | Cu (ppm) |
|-----------|----------|---------|----------|
| T1        | S1       | L1      | 0,464    |
|           |          | L2      | 0,259    |
|           |          | L3      | 0,216    |
| T2        | S3       | L4      | 0,205    |
|           |          | L5      | 0,065    |
|           |          | L6      | 0,043    |
|           |          | L7      | 0,108    |
| T3        | S3       | L8      | 0,065    |
|           |          | L9      | 0,141    |
|           |          | L10     | 0,411    |
|           | S4       | L11     | 0,065    |
|           |          | L12     | 0,151    |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



**Figure 29 : Teneurs en Cu (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

D'après les résultats obtenus dans notre étude, nous remarquons que les teneurs de cuivre varient d'une station à l'autre.

L'espèce lichénique représenté par L4 de la troisième station (S3) et deuxième transect et L12 du transect (T3) et de la station (S4) nous renseigne sur les taux de pollution les plus élevés vis-à-vis des stations étudiées, la troisième station (S3) semble être la plus affectée.

Les valeurs maximales des teneurs des lichens en Cuivre se retrouvent au niveau de la première station (S1) correspondant au premier transect.

Les teneurs en cuivre n'indiquent pas des différences majeures chez les lichens représentant la 1ère et la 4ème station (S1, S4) et correspondant au premier et troisième transect, contrairement à la troisième qui correspond au deuxième transect où les teneurs varient de 0,043 ppm à 0,411 ppm, cela pourrait être attribué au pouvoir accumulateur des lichens utilisés dans l'étude, comme le montre le travail de ALIOUA *et al.*, (2008).

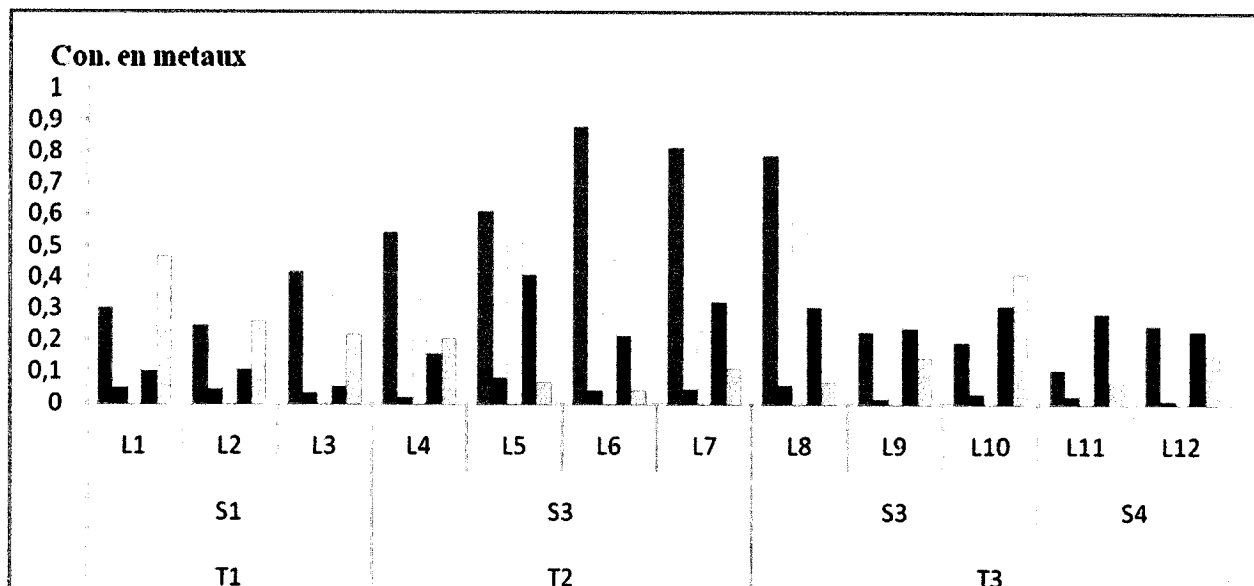
#### V.1.2.6. Teneurs des lichens en métaux lourds (ppm) dans les différents sites et transects.

Pour mieux comparer les concentrations et teneurs de différents éléments dans les différents sites et transects étudiés, l'ensemble des résultats obtenus sera récapitulé dans le tableau 12 et la figure 30.

**Tableau 12 : Teneurs des lichens en zinc, cadmium, plomb, cuivre et manganèse (ppm) dans les différents sites et transects.**

| Transects | Stations | Espèces | Zn    | Cd     | Pb    | Mn    | Cu    |
|-----------|----------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|
| T1        | S1       | L1      | 0,299 | 0,0509 | 0,209 | 0,098 | 0,464 |
|           |          | L2      | 0,244 | 0,0464 | 0,149 | 0,106 | 0,259 |
|           |          | L3      | 0,414 | 0,0344 | 0,368 | 0,055 | 0,216 |
| T2        | S3       | L4      | 0,545 | 0,018  | 0,328 | 0,155 | 0,205 |
|           |          | L5      | 0,611 | 0,0793 | 0,557 | 0,407 | 0,065 |
|           |          | L6      | 0,878 | 0,0404 | 0,457 | 0,211 | 0,043 |
|           |          | L7      | 0,811 | 0,0449 | 0,228 | 0,321 | 0,108 |
| T3        | S3       | L8      | 0,786 | 0,0584 | 0,646 | 0,303 | 0,065 |
|           |          | L9      | 0,223 | 0,0135 | 0,447 | 0,236 | 0,141 |
|           |          | L10     | 0,19  | 0,0284 | 0,199 | 0,309 | 0,411 |
|           | S4       | L11     | 0,104 | 0,0195 | 0,577 | 0,283 | 0,065 |
|           |          | L12     | 0,246 | 0,0105 | 0,328 | 0,227 | 0,151 |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



**Figure 30 : Accumulation des métaux lourds chez les lichens des différents sites et transects.**

Nous remarquons que les lichens qui accumulent le plus d'éléments sont ceux présents au niveau de la troisième station et qui correspondent au deuxième transect.

Les éléments les plus accumulés sont le zinc, le plomb est le cuivre, puis vient le manganèse avec des concentrations légèrement plus basses que celles-ci.

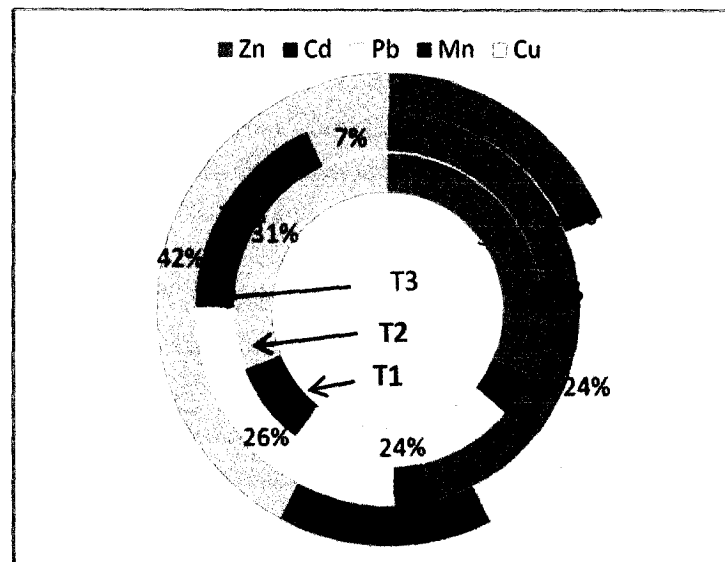
Le cadmium n'est que peu accumulé.

#### V.1.2.7. Effet de la distance des transects sur les concentrations en métaux des lichens

Les concentrations en métaux varient suivant plusieurs paramètres et sont sous l'influence d'une multitude de facteurs, le choix des transects dans notre zone d'étude, tient compte des distances des sources de pollutions, ainsi que de l'exposition à celles-ci.

**Tableau 13 : Concentrations moyennes de zinc, cadmium, plomb, cuivre et manganèse (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

| Transects | Zn    | Cd     | Pb    | Mn    | Cu    |
|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| T1        | 0,319 | 0,043  | 0,242 | 0,086 | 0,313 |
| T2        | 0,709 | 0,045  | 0,393 | 0,274 | 0,105 |
| T3        | 0,311 | 0,0261 | 0,439 | 0,272 | 0,766 |



**Figure 31 : Concentrations moyennes de zinc, cadmium, plomb, cuivre et manganèse (ppm) chez les lichens de différents sites et transects.**

Les concentrations moyennes des lichens de différentes stations du premier transect montrent que les éléments les plus accumulés sont le Cu le Zn et le plomb, le Mn ne représente que 9% du total des teneurs au moment où le Cd ne présente que 4% de ce dernier.

Au niveau du deuxième transect le plomb est le zinc sont les plus abondants, le cuivre et le plomb pour le troisième transect.

Dans les trois transects, les concentrations les plus élevées sont celles du cuivre, zinc et du plomb, les teneurs de cuivre et cadmium sont relativement faibles par rapport aux autres éléments dosés.

### V.1.3. Résultat du dosage de l'MDA

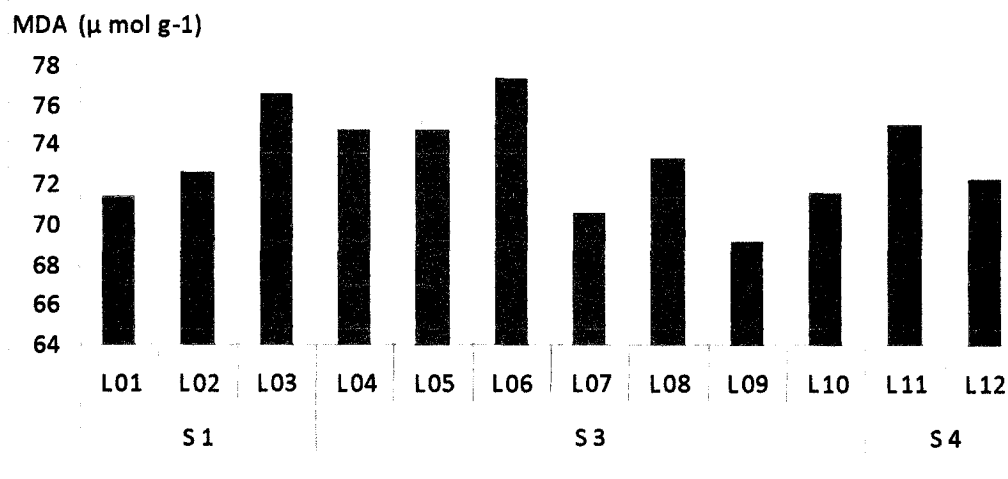
La lipo-péroxydation est fréquemment évaluée et quantifiée par la mesure de produits de sa réaction tel que le malonaldéhyde (MDA). Le dosage de l'MDA dans les lichens s'est développé depuis dizaine d'années (EGGER *et al.*, 1994; CAÑAS *et al.*, 1997; GONZÁLEZ et PIGNATA, 2000; CARRERAS et PIGNATA, 2001). L'augmentation du taux de l'MDA traduit un impact toxique consécutif des lipides membranaires.

Les résultats du dosage de l'MDA dans les différents échantillons de lichens sont indiqués dans le tableau 14 et illustrés dans la figure 32.

**Tableau 14 : Résultats de l'MDA représentant le taux de peroxydation lipidique dans les différents échantillons.**

| Transects | Stations | Espèces | MDA ( $\mu\text{ mol g}^{-1}$ ) |
|-----------|----------|---------|---------------------------------|
| T1        | S1       | L01     | 71,393                          |
|           |          | L02     | 72,602                          |
|           |          | L03     | 76,585                          |
| T2        | S3       | L04     | 74,787                          |
|           |          | L05     | 74,787                          |
|           |          | L06     | 77,345                          |
|           |          | L07     | 70,602                          |
| T3        | S3       | L08     | 73,315                          |
|           |          | L09     | 69,130                          |
|           |          | L10     | 71,610                          |
|           | S4       | L11     | 75,020                          |
|           |          | L12     | 72,369                          |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



**Figure 32 : Concentration de l'MDA représentant le taux de peroxydation lipidique dans les différents échantillons lichéniques.**

Les résultats obtenus montrent que le taux de peroxydation lipidique est élevé chez les lichens L3 et L6 où il atteint respectivement les valeurs de 72,602 et 77,345  $\mu\text{ mol g}^{-1}$ .

Le lichen L9 représente la valeur la plus faible à 69,130  $\mu\text{ mol g}^{-1}$ . Les autres valeurs varient entre 70,602 et 75,020  $\mu\text{ mol g}^{-1}$ .

#### IV.1.4. Résultats du dosage de la chlorophylle et de la phaeophytine

##### IV.1.4.1. Résultats de la chlorophylle

Ce pigment se trouve naturellement dans les plantes supérieures ainsi que dans les plantes inférieures tel que les lichens, mais à des quantités variables. Ce paramètre est utilisé comme

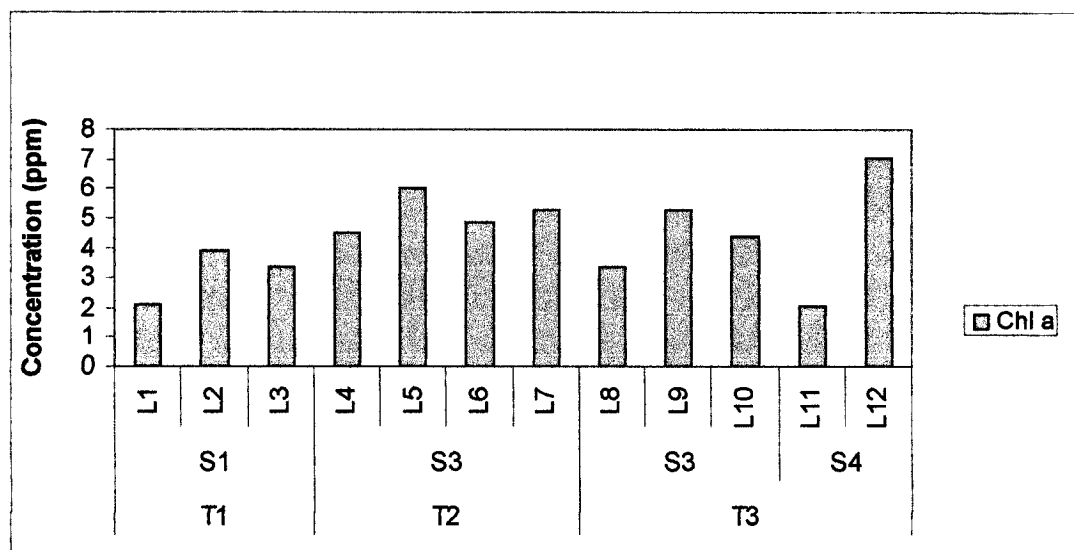
indicateur de la pureté de l'air tant qu'il est un indicateur de la perturbation physiologique tel que la photosynthèse ou la morphologique, la couleur du thalle par exemple (DAHANE, 2005).

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 15, et les variations sont illustrées par les figures 33, 34, 35 et 36 respectivement.

**Tableau 15 : Teneurs chez les lichens en chlorophylle (a), (b) et (a+b) en ppm après traitement par acétone.**

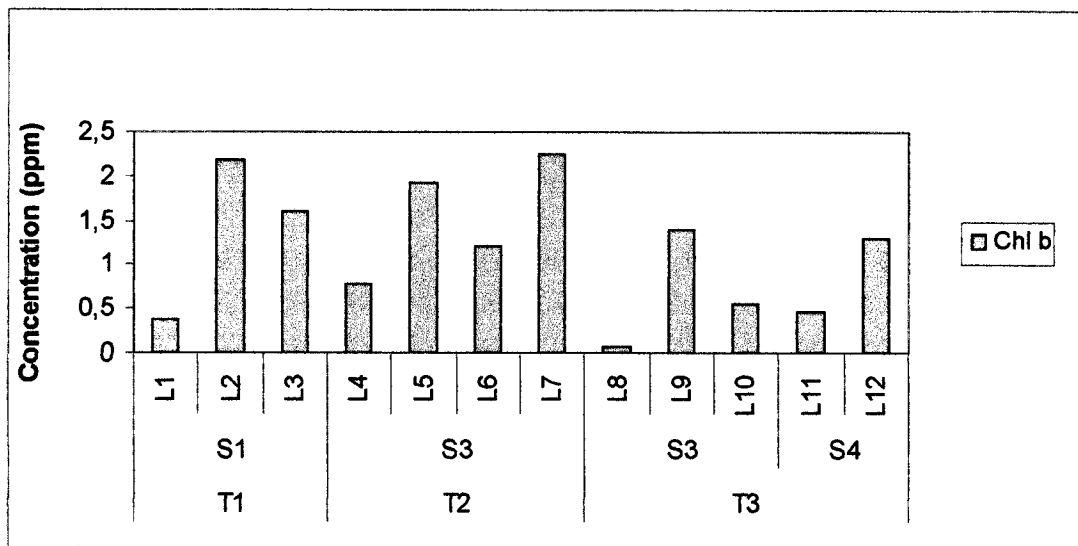
| Transects | Stations | Espèces | Chl. a | Chl. b | Chl. a + b | Chl. a / b |
|-----------|----------|---------|--------|--------|------------|------------|
| T1        | S1       | L1      | 2,113  | 0,362  | 2,475      | 5,830      |
|           |          | L2      | 3,928  | 2,173  | 6,102      | 1,807      |
|           |          | L3      | 3,336  | 1,601  | 4,937      | 2,083      |
| T2        | S3       | L4      | 4,487  | 0,782  | 5,269      | 5,737      |
|           |          | L5      | 6,050  | 1,917  | 7,968      | 3,155      |
|           |          | L6      | 4,839  | 1,223  | 6,062      | 3,956      |
|           |          | L7      | 5,283  | 2,244  | 7,528      | 2,354      |
| T3        | S3       | L8      | 3,375  | 0,729  | 4,104      | 4,626      |
|           |          | L9      | 5,283  | 1,388  | 6,672      | 3,804      |
|           |          | L10     | 4,356  | 0,545  | 4,901      | 7,987      |
|           | S4       | L11     | 2,064  | 0,468  | 2,532      | 4,411      |
|           |          | L12     | 7,0218 | 1,296  | 8,318      | 5,414      |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



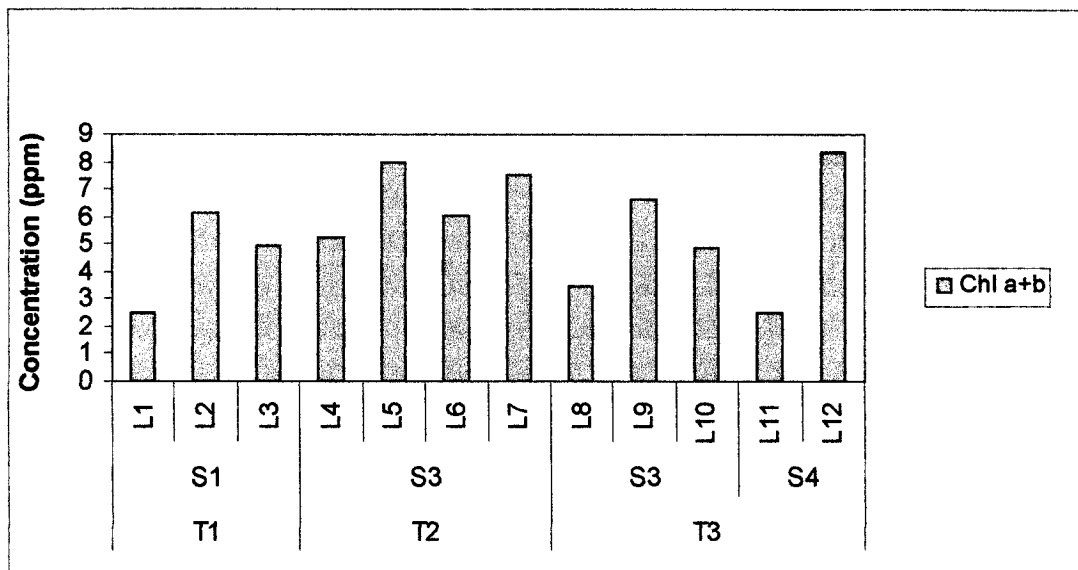
**Figure 33 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en chlorophylle (a) chez les différents échantillons lichéniques.**

La valeur la plus faible de la teneur en chlorophylle (a) a été enregistrée chez les lichens L1 et L11 où elle atteint (2,113) et (2,064) ppm respectivement. Les valeurs, les plus élevées sont remarquées chez L5 et L12 d'où elle est de (6,05) et (7,021) ppm respectivement. Cette valeur est variable entre (3,336) et (5,283) ppm pour les autres lichens.



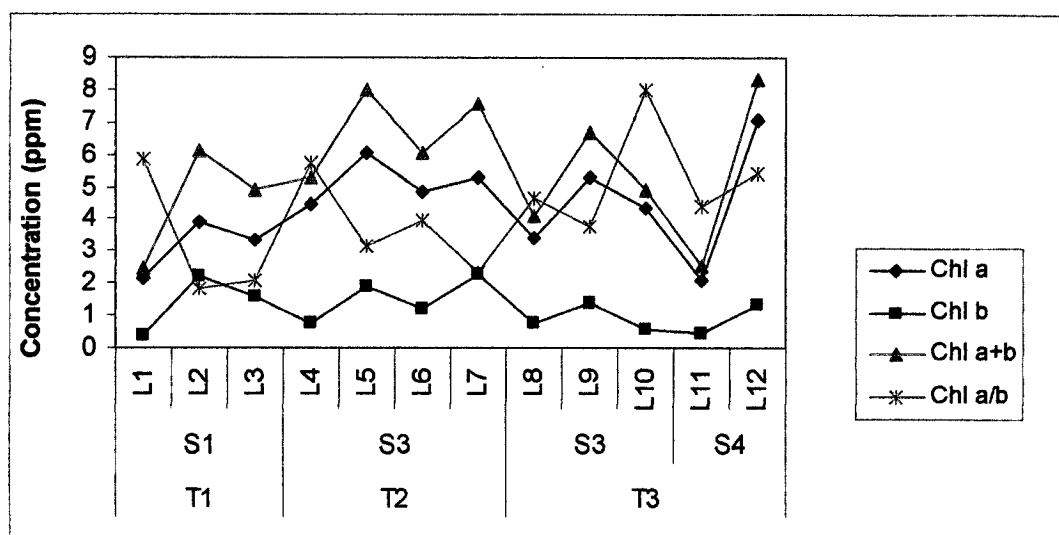
**Figure 34 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en chlorophylle (b) chez les différents échantillons lichéniques.**

Les valeurs de la teneur moyenne en chlorophylle (b) dans les différents échantillons lichéniques sont de : (0,362) ppm chez les lichens L1 comme valeur minimale, (2,173) ppm et (2,244) ppm pour L2 et L7 respectivement d'où elle présente la valeur maximale, et variantes entre (0,468) et (1,917) ppm pour les autres échantillons.



**Figure 35 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en chlorophylle totale chez les différents échantillons lichéniques.**

Comme pour la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b), la valeur de la chlorophylle totale est variée pour les différents échantillons. La valeur la plus élevée est celle observée chez le lichen L12 qui est de (8,318) ppm et la plus faible est celle observée chez L1 et L2 qui sont (2,475) et (2,532) ppm respectivement. Les autres valeurs varient de (4,104) à (7,968) ppm.



**Figure 36 : Courbes illustratives des variations de la teneur en chlorophylle (a), chlorophylle (b), chlorophylle totale et le rapport chlorophylle (a / b) chez des différents échantillons de lichens.**

La figure 36 est représentative des résultats observés précédemment, dans laquelle on peut remarquer clairement que la teneur en chlorophylle (a) chez les lichens est plus élevée que celle en chlorophylle (b). Ainsi, la somme de la chlorophylle (a) et (b), qui représente la chlorophylle totale, le confirme bien vu qu'elle n'est pas loin des valeurs de la chlorophylle (a).

Dans les conditions naturelles, la teneur en chlorophylle est élevée, dans nos conditions d'étude, la teneur en chlorophylle est relativement faible, ce qui indique une situation de stress.

Cette situation peut être clarifiée par le calcul du rapport (Chl a / b), qui est de (7,987) chez le lichen L10, ou il présente la valeur maximale, et il descend jusqu'à (1,807) ppm comme valeur minimale. Les échantillons qui présentent un rapport normal entre la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b) variant entre (2) et (3) sont les lichens L3 et L7 avec (2,083) et (2,354) respectivement. La valeur observée chez le lichen L5 est légèrement élevée et est de (3,155), on peut dire qu'il n'est pas vraiment affecté. Les autres échantillons de lichens sont vraiment sous stress.

#### IV.1.4.2. Résultats du dosage de la phaeophytine

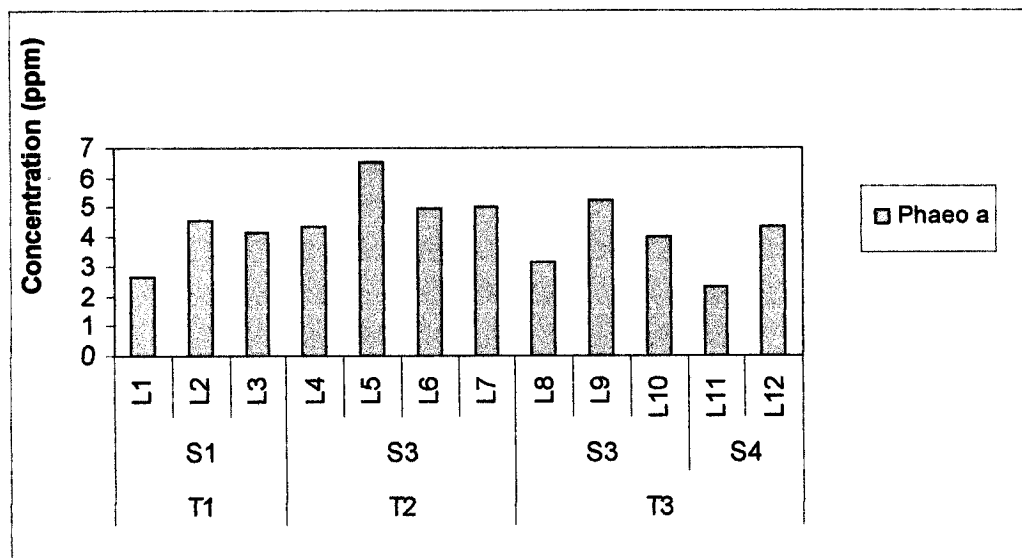
La phaeophytine est le produit de dégradation des pigments chlorophylliens. Ces résultats sont représentés dans le tableau 16 et illustrés dans les figures 37, 38, 39 et 40.



**Tableau 16 : Teneurs chez les lichens de la phaeophytine (a), (b) et (a+b) en ppm.**

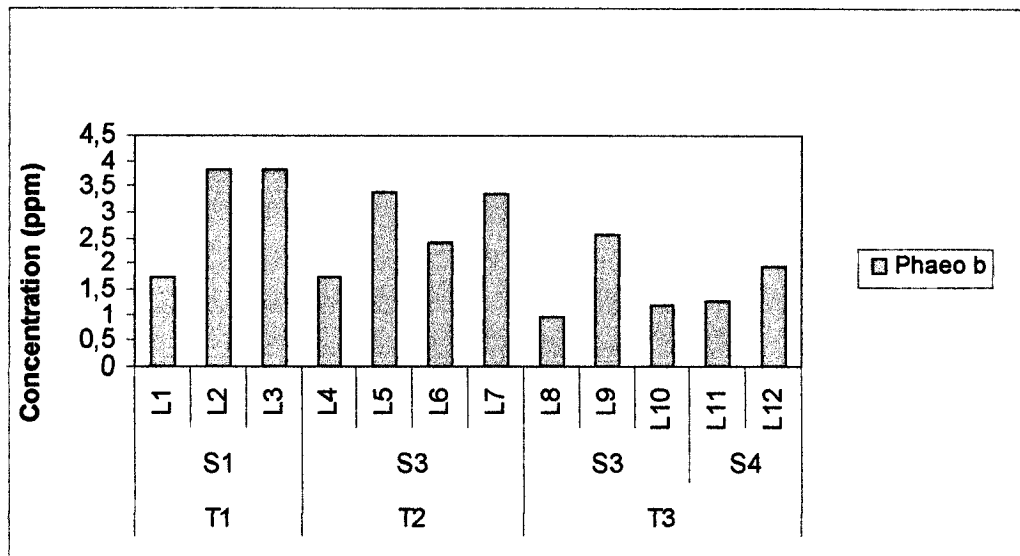
| Transects | Stations | Espèces | Phaeo. a | Phaeo. b | Phaeo. a + b | Phaeo. a/b |
|-----------|----------|---------|----------|----------|--------------|------------|
| T1        | S1       | L1      | 2,650    | 1,744    | 4,381        | 1,519      |
|           |          | L2      | 4,569    | 3,824    | 8,366        | 1,194      |
|           |          | L3      | 4,166    | 3,841    | 7,980        | 1,084      |
| T2        | S3       | L4      | 4,318    | 1,744    | 6,045        | 2,475      |
|           |          | L5      | 6,494    | 3,378    | 9,843        | 1,922      |
|           |          | L6      | 4,983    | 2,420    | 7,383        | 2,058      |
|           |          | L7      | 5,060    | 3,358    | 8,392        | 1,506      |
| T3        | S3       | L8      | 3,129    | 0,953    | 4,072        | 3,282      |
|           |          | L9      | 5,237    | 2,546    | 7,761        | 2,056      |
|           |          | L10     | 4,002    | 1,202    | 5,191        | 3,327      |
|           | S4       | L11     | 2,278    | 1,267    | 3,535        | 1,798      |
|           |          | L12     | 4,355    | 1,950    | 6,287        | 2,233      |

L : lichen ; S : station ; T : transect.



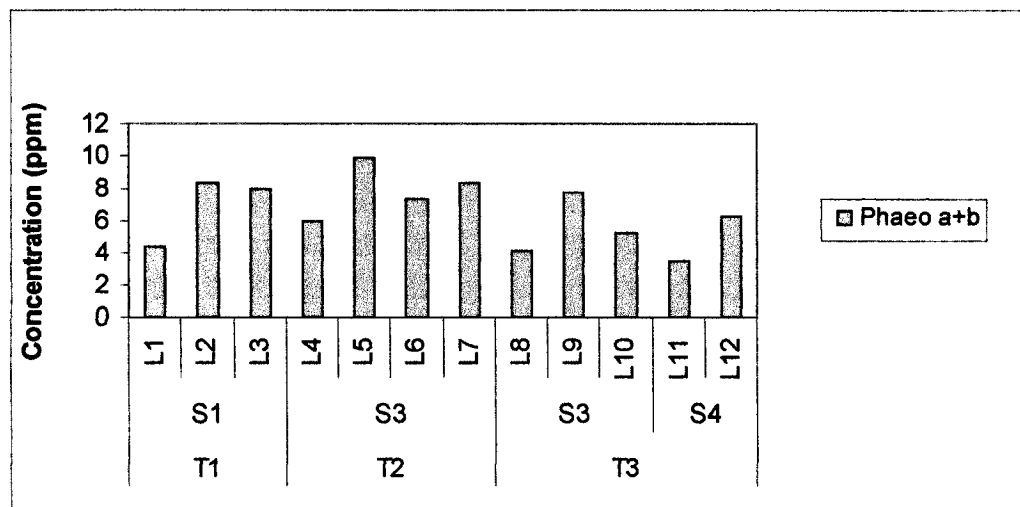
**Figure 37 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en phaeophytine (a) chez les différents échantillons lichéniques.**

La valeur la plus faible de la teneur en phaeophytine (a) a été enregistrée chez les lichens L1 et L11 où elle atteint (2,65) et (2,278) ppm respectivement. Les valeurs les plus élevées sont observées chez le lichen L5 qui est de (6,494) ppm. Cette valeur est variable de (3,336) à (5,283) ppm.



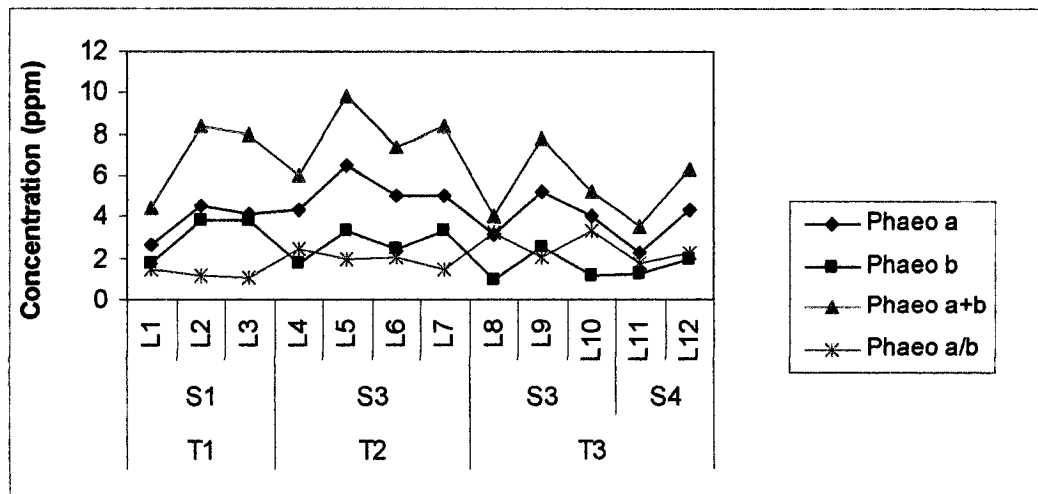
**Figure 38 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en phaeophytine (b) chez les différents échantillons lichéniques.**

Les valeurs de la teneur moyenne en phaeophytine (b) dans les différents échantillons de lichens sont de : (0,953) ppm chez le lichen L8 comme valeur minimale, (3,824) et (3,841) ppm chez les L2 et L3 respectivement où s'observe la valeur maximale, et varie entre (1,202) et (3,378) ppm chez les autres échantillons lichéniques.



**Figure 39 : Histogramme représentatif des variations de la teneur en phaeophytine totale chez les différents échantillons lichéniques.**

Pour la phaeophytine totale, la valeur la plus élevée est celle observée chez le lichen L5 qui est de (9,843) ppm tandis que les valeurs les plus faibles sont celles observées chez les lichens L1 et L2 qui sont respectivement de (2,475) et (2,532) ppm. Les autres valeurs varient de (4,104) ppm à (7,968) ppm.



**Figure 40 : Courbes illustratives des variations de la teneur en pigments chlorophylliens chez des différents échantillons de lichens.**

Cette courbe est représentative des résultats observés précédemment, dans laquelle on peut confirmer que la teneur en phaeophytine (*a*) est plus élevée que celles en phaeophytine (*b*) chez les lichens dans tous les échantillons avec un rapprochement de teneurs chez quelques uns. Ainsi, la valeur de la phaeophytine totale le confirme n'étant pas loin des valeurs de la phaeophytine (*a*).

#### IV.1.5. Le Facteur de contamination (CF)

CARBALLERIA *et al.* (2000) ont élaboré le calcul d'un facteur de contamination (CF) afin d'évaluer l'état d'un écosystème et de suivre son évolution à partir d'un niveau de référence. Les résultats sont représentés dans le tableau 17 :

**Tableau 17 : Calcul de facteur de contamination CF pour les différentes stations d'étude.**

| CF<br>Métaux | S1 / S3 | S1 / S4 | S3 / S4 |
|--------------|---------|---------|---------|
| Zn           | 0,554   | 1,825   | 3,291   |
| Cd           | 1,086   | 2,926   | 2,693   |
| Pb           | 0,591   | 0,534   | 0,904   |
| Mn           | 1,108   | 0,338   | 0,305   |
| Cu           | 2,114   | 2,898   | 1,373   |

En comparant les résultats obtenus, nous pourrions conclure que la troisième station est la plus affectée en cadmium et zinc. Le cuivre marque une concentration élevée au niveau des stations (S1) et (S4), tandis que les concentrations les plus élevées du Zinc, Plomb et Manganèse sont observées au niveau des stations (S3) et (S4).

Ce résultat ne peut être que la conséquence de la présence de sources de polluants localisées au près de la zone d'étude et qui rejettent des quantités importantes de polluants atmosphérique exerçant un effet négatif sur l'écosystème forestier, cet effet se traduit par les résultats des paramètres physiologiques analysés (MDA, chlorophylle, métaux lourds) qui démontrent clairement la situation de stress entraîné sur les lichens.

Selon les résultats du calcul de la surface de recouvrement (Tab. 7), les espèces prélevées depuis notre zone d'étude sont celles qui peuvent se développer dans des zones où la qualité de l'air varie de "moyenne" à "médiocre", ce qui témoigne de la capacité des lichens à accumuler les polluants et de leur grande résistance face aux contaminations de l'écosystème étudié. Aucun transect n'est localisé dans une région où la qualité de l'air estimée semble être bonne.

Il y'a effectivement un risque de contamination de l'écosystème, la situation géographique des stations peut expliquer certaines variations en degré de contamination entre les différents sites.

L'altitude des stations semble influencer le niveau de contamination de cette dernière.

La moyenne altitudinale de la station (S1) est de 971 m, contre 200 m pour la station (S4). Rappelons que l'altitude moyenne de tous les transects de la zone d'étude est de 570m.

La direction et l'intensité des vents dominants soufflant sur la zone industrielle peuvent transporter les polluants présents dans l'atmosphère et éventuellement expliquer nos résultats.

Ces résultats peuvent aussi s'expliquer en partie par le fait que les prélèvements ont été effectués dans des conditions influencées par la présence d'un plus grand nombre de phorophytes et d'un microclimat relativement plus humide.

L'émission de polluants par les industries et le trafic automobile a de toute évidence un impact majeur sur la quantité et la qualité de la végétation lichénique. L'impact du trafic automobile est cependant difficile à estimer par le calcul de facteur de contamination (CF) à cause de ses fluctuations et de sa dense répartition, quasiment homogène, sur la totalité de la zone d'étude. En ce qui concerne l'industrie, il semble également difficile de mettre en évidence l'impact direct des rejets atmosphériques sur les lichens. Cela demande l'étude détaillée d'une zone précise avec une industrie et des polluants déterminés, ainsi qu'une étude approfondie de la dispersion des polluants en fonction des vents et des précipitations. Une étude identique a déjà été réalisée dans l'agglomération grenobloise, sur l'impact de l'usine d'incinération de La Tronche sur les lichens (GOMBERT et al, 2003), qui a révélé que le développement des lichens varie en fonction de la

qualité de l'air, le degré des émissions, la distance des sources de pollution et les conditions météorologiques de la zone étudiée.

De cet effet, la distribution spatiale est dépendante des émissions de polluants, de leur transport, transformation chimique, dépôt... etc. Pour la situation météorologique, on peut signaler là que les mêmes émissions, mêmes obstacles, mêmes occupations du sol, mêmes températures, mêmes stabilité de l'atmosphère, mêmes niveaux d'ensoleillement, mêmes taux d'humidité, etc... , signifient des épisodes de pollution qui se répètent. Et comme la situation météorologique présente dans ce cas l'ensemble des paramètres météorologiques engendrant un épisode de pollution ayant même des structures de pollution identique, mais à des niveaux variables, il faut donc profiter des épisodes de pollution antérieur pour construire l'épisode de pollution en cours.

Partie III

**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Chapitre VI

***DISCUSSION DES RÉSULTATS***

## Chapitre VI : DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'étude de l'influence de la distance à la source sur la teneur de l'air en polluants permettra de comprendre le phénomène de dispersion de la pollution atmosphérique et de prévoir la concentration en n'importe quel point de l'environnement.

Les méthodes de biodétection végétale de la pollution atmosphérique ne sont pas concurrentes des méthodes physicochimiques, mais avant tout complémentaires.

Leurs principaux points d'intérêt peuvent être résumés par leur simplicité, rapidité et la non onérosité, avec un faible coût d'investissement. En plus, on peut rajouter la possibilité de densifier à faible coût les réseaux de capteurs physicochimiques et la possibilité de détection de polluants nouveaux ou accidentels non pris en compte par les capteurs en place. Un autre intérêt est la fourniture d'information biologique avec des aspects psychologiques ou de sensibilisation et la possibilité de réaliser des cartographies pour la réalisation de différents suivis ou études.

Les principales limites de ces méthodes de biodétection végétale sont essentiellement liées à la nature biologique de « détecteur ». Parmi lesquels, on peut citer la disponibilité non permanente des plantes liées au climat ou au cycle de végétation, possibilité d'artefact avec d'autres stress biotiques ou abiotiques et la difficulté de remonter aux concentrations en polluants dans l'atmosphère. Aussi, à doses égales, les pics de pollution ont un impact physiologique plus important que les faibles niveaux (GARREC et VAN HALUWYN, 2002).

Suite aux études réalisées, nous avons remarqué qu'un même lichen trouvé dans deux stations différentes peut présenter des teneurs non semblables en métaux.

Si des lichens sont plus perturbés que d'autres ou qu'ils accumulent de plus importantes teneurs en métaux, est que des facteurs abiotique en sont responsables, nous citons l'exemple de l'humidité qui varie en fonction de l'altitude, l'exposition a la lumière, et au vents, comme l'avaient indiqué (DEMING-ADAMS *et al.*, 1990 et TURK *et al.*, 1974 ; in : BEDENEAU, 1982 ; OZENDA et CLAUZADE, 1970).

Selon notre enquête sur le terrain il y'a des facteurs que nous jugeons responsables des perturbations que connaissent les lichens, comme les incendies que notre région d'étude a connu en année 2007, le défrichement, l'occupation illicite des sols... etc. En générale, ces facteurs anthropiques sont à l'origine de la dégradation de la forêt, tout comme ils limitent la remontée biologique, ce qui influe sur les ressources naturelles surtout sur le lichen dont la croissance est très limitée.



Les résultats du dosage de l'MDA présentent des concentrations élevées. Ces taux sont différents selon les espèces et les stations d'étude.

Des observations réalisées par SIGNORET (2000), suggèrent que l'O<sub>3</sub> est lié à la lipoperoxydation membranaire des lichens. Les métaux accumulés par les lichens et corrélés avec l'MDA, sont des éléments qui ont pu être émis par les sources de pollution et ont ainsi contribué à l'augmentation du stress oxydant. Or, les membranes cellulaires des lichens (essentiellement au niveau du champignon) ont un rôle important de liaison et de localisation d'éléments traces métalliques issus du piégeage de particules véhiculées dans l'atmosphère (GARTY, 2001).

En effet, notre hypothèse implique que dans des régions où l'O<sub>3</sub> est le principal polluant atmosphérique, les changements biologiques provoqués par un stress oxydant pourraient affecter significativement les concentrations en éléments chimiques dans le thalle.

Les valeurs de la chlorophylle présentent une anomalie qui confirme qu'il y a un stress exercé sur les lichens. Ces variations montrent que les valeurs de la chlorophylle (*a*) et (*b*) chez le lichen présentent des fluctuations en fonction de différentes espèces.

Le calcul du rapport Ch (*a*) / (*b*) montre que les lichens connaissent des perturbations mais qui n'affecte pas vraiment la chlorophylle (*b*), ce qui veut dire qu'il n'y a pas eu lieu de la destruction des acides lichéniques, ceci est dû à la grande capacité qu'ont les lichens à résister aux stress environnementaux.

Des observations réalisées précédemment par SIGNORET (2000), ont révélées que la présence de métaux dans l'atmosphère ne semblait avoir d'effets que sur les pigments chlorophylliens des lichens, notamment la diminution des concentrations en Chlorophylle (*b*) à laquelle est liée la baisse de la concentration en Zn, Cd et Cu.

Pour le deuxième paramètre, phaeophytine, et selon nos résultats, il y a une relation entre le stress et la variation de la chlorophylle. La dégradation des pigments photosynthétiques (chlorophylle) est un indicateur physiologique utilisé également, généralement, pour évaluer la vitalité du lichen. Quelques auteurs ont trouvés un rapport direct entre la pollution environnementale soit physique (radiation élevée) ou chimique par exemple dépôts acides ou métaux lourds) et le taux de dégradation de la chlorophylle (*a*) et de la phaeophytine (*a*) (HAUCK, 2003).

Les résultats attendus étaient de voir une mortalité et une disparition sévère des espèces, tandis que les résultats obtenus étaient la vitalité et la survie de quelques espèces lichéniques, ce qui nous

mène à conclure que ces espèces ont des mécanismes spécifiques qui dissipent l'énergie excessive reçue.

En synthétisant les résultats de notre étude, nous trouverons que les paramètres étudiés sont en étroite relation, et que l'augmentation des taux de l'MDA qui témoigne de l'état de stress que subissent les lichens est accompagné par une augmentation des concentrations des métaux, en exceptons certains cas.

Ces réponses biologiques devront intégrer les phénomènes de dépôts d'éléments chimiques dont les aspects d'absorption et d'accumulation dans les thalles encouragent la recherche vers l'écophysiologie lichénique. Enfin, l'impact des polluants chimiques sur les capacités de bioaccumulation devra être quantifié pour améliorer la fiabilité des suivis en bioindication.

Pour la distribution des lichens, dans la zone d'étude, nous avons remarqués sa dépendance vis-à-vis de la direction des vents dominants. Ce facteur est prépondérant dans la distribution des espèces, domine les autres facteurs climatiques, comme l'altitude, l'éclairement ou la température, lesquels interviennent de façon indirecte en compensation ou aggravation de l'orientation des vents dominants. Certaines de nos stations sont des régions situées en abri des vents où le maximum de biodiversité lichénique s'observe, alors que d'autres sont directement exposées à ces vents ce qui pourrait influencer l'absence, l'abondance ou la dominance des lichens.

L'éclairement et la température, qui dépendent directement de l'altitude, sont des facteurs qui interviennent en second lieu après la direction des vents dominants. Comme pour les végétaux, il existe un zonage altitudinal marqué de la végétation lichénique. Le rôle de l'humidité reste toutefois prépondérant, il a été démontré que l'activité des lichens est plus importante en atmosphère humide (OZENDA et CLAUZADE, 1970) et il se peut que des espèces de régions sèches pourraient être rencontrée dans des milieux plus éclairés dans un secteur très humide.

Le résultat de calcul de facteur de contamination (CF) ne peut être que la conséquence de la présence de sources de polluants localisées au près de la zone d'étude et qui rejettent des quantités importantes de polluants atmosphériques exerçant un effet négatif sur l'écosystème forestier, cet effet se traduit par les résultats des paramètres physiologiques analysés (MDA, chlorophylle, métaux lourds) qui traduisent clairement la situation de stress entraînée sur les lichens.

Donc, on peut dire qu'il y'a effectivement un risque de contamination de l'écosystème qui peut se traduire par le développement des espèces résistantes aux conditions médiocres de la qualité de l'air.

