

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master

Filière : Biologie

Spécialité : Protection de l'environnement

THEME

Utilisation des lichens (*Xanthoria parietina* ,
Ramalina fastigiata) comme bio-indicateurs de la
pollution par les métaux lourds (Pb, Cd).

Présenté par :

- Mr ALIANE HOUSSEM EDDINE

- Mlle MEKACHER HOURIA

Membres du Jury :

Présidente: Mme HEDJAL-CHEBHAB.M Maitre de conférences classe A à UMMTO

Promotrice : Mme SAHMOUNE.F Maitre assistante classe A à UMMTO

Examinatrice : Mme TALEB.K Maitre de conférences B

Promotion : 2016/2017

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier le bon dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de réaliser cet humble travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promotrice **Mme SAHMOUNE F** maitre assistante A à la faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques à l'UMMTO, qui nous a accordé l'honneur de diriger ce travail, son aide, son encouragement et ses conseils.

A **Mme HEDJAL-CHEBHAB M**, maitre assistante A chargée de cours à la faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques à l'UMMTO, d'avoir accepté la présidence du jury de ce mémoire. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect.

Nous exprimons notre reconnaissance à **Mme TALEB K**, maitre de conférences à la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques à l'UMMTO qui a accepté d'examiner notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler que dieu leur procure bonne santé et longue vie inchallah.

*A mon unique et très cher frère **Chemsedine**.*

*A mes grands-mères et mes tantes **Kahina** et **Wahiba** .*

*A ma meilleure **Radia**.*

*A mes cousins et cousines **Yasmine**, **Maria**, **Ritadj** , **Mohamed Yacine**, **Melissa**, **Mohamed** et **Nassim**.*

*A mes très chères amies **Dyhia**, **Souhila**, **Smail** et à toute ma famille et aux personnes que j'ai oublié.*

A tous les membres du ROTARACT club Tizi-Ouzou.

Aux étudiants de la promo protection de l'environnement.

*A mon binôme **Houssam Eddine**.*

Houria

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler que dieu leur procure bonne santé et longue vie inchallah .

*A ma chérie **FAYROUZ**.*

*A mon unique frère **amine**.*

A mes cousins et cousines.

*A mes très chères amies **LATIF, NABIL, LOKMAN, MASSI, KHALIL, MIDO, LAHSEN, SMAIL** et à toute ma famille et aux personnes que j'ai oublié.*

Aux étudiants de la promo protection de l'environnement.

*A ma binôme **HOURIA**.*

HOUSSEM

Liste des Figures

Figure 01 : structure homéomère de <i>Collema tenax</i>	05
Figure 02 : structure hétéromère stratifiée de <i>Lobaria pulmonaria</i>	06
Figure 03 : structure hétéromère radiée : coupe transversale du thalle	07
Figure 04 : Organigramme représentant les réactions des lichens aux polluants.....	21
Figure 05 : localisation du site de prélèvement (YAKOURENE)	22
Figure 06 : <i>Ramalina fastigiata</i>	23
Figure 07 : <i>Xanthoria parietina</i>	23
Figure 08 : Spectrophotomètre d'absorption atomique	26
Figure 09 : résultat de l'extraction des substances lichéniques.....	27
Figure 10 : le composé majoritaire.....	28
Figure 11 : Acide usnique dans le milieu GE et GAW	30
Figure 12 : Acide usnique chez <i>Xanthoria parietina</i> dans le milieu GE et GAW	30
Figure 13 : Acide usnique dans le milieu GAAn	31
Figure 14 : Acide usnique chez <i>Xanthoria parietina</i> dans le milieu GAAn	31
Figure 15 : Acide salazinique dans le milieu KK	32
Figure 16 : Acide salazinique chez <i>Ramalina fastigiata</i> dans le milieu KK	32
Figure 17 : Evaluation de la rétention des métaux par <i>Ramalina fastigiata</i> en fonction des solutions métalliques	33
Figure 18 : Evaluation de la rétention des métaux par <i>Xanthoria parietina</i> en fonction des solutions métalliques	34

Sommaire

Introduction	01
---------------------------	-----------

Chapitre I : Généralités sur les lichens

I.1. Définition	03
I.2. La symbiose lichénique	03
I.3. Classification des lichens	04
I.3.1. Les ascolichens	04
I.3.2. Les basidiolichens	04
I.3.3. Les hypolichens	04
I.4. Morphologie.....	04
I.5. Anatomie du thalle	04
I.5.1. Structure homéomère	05
I.5.2. Structure hétéromère	05
I.6. Reproduction des lichens	07
I.7. Usage des lichens	08

Chapitre II : Lichens et pollution

II.1. Définition de la pollution atmosphérique	09
II.2. Les métaux lourds polluants de l'atmosphère	09
II.2.1. Le plomb	09
II.2.2. Le cadmium	10
II.3. Les lichens bio-indicateurs de la pollution atmosphérique	11
II.3.1. Définitions	11

Sommaire

II.3.2. Méthodes de bio-indication	11
II.4. Impact de la pollution atmosphérique sur les lichens	20

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Matériels	22
III.1.1. Présentation des sites de récolte et du matériel végétal	22
III.1.2. Matériel chimique	26
III.1.3. Appareil de mesure	26
III.2. Méthodes	27
III.2.1. Identification des échantillons lichéniques	27
III.2.2. Extraction des substances lichéniques	27
III.2.3. Isolement du composé majoritaire	27
III.2.4. La microcristallisation	28
III.2.5. Dosage des métaux lourds	29

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Résultats	30
IV.1.1. Résultats de la microcristallisation	30
IV.1.2. Résultats du dosage des métaux lourds	33
IV.2. Discussions	35
IV.2.1. Discussion sur les résultats du dosage des métaux lourds	39
Conclusion	41

Références bibliographiques.



Introduction

INTRODUCTION

Depuis 1970, les études concernant l'écologie des lichens se sont multipliées notamment avec les recherches appliquées à la pollution atmosphérique. En effet, la pollution atmosphérique modifie le développement de la flore lichénique, et selon l'intensité et la nature de la pollution, les lichens présentent des altérations morphologiques et structurelles et parfois même disparaissent totalement (KHALIL et ASTA, 1998).

Afin de suivre l'évolution de la pollution dans le temps et dans l'espace, des techniques dynamiques et statiques (appareils de mesures) ont été élaborées, mais leurs contraintes financières et leurs difficultés d'installation ne permettent pas de recouvrir de grandes zones d'études, ce qui a conduit à l'utilisation des techniques alternatives notamment la bioindication végétale, dans le domaine de la détection et la quantification des polluants dans l'atmosphère. Parmi ces bioindicateurs, les lichens qui possèdent un pouvoir d'accumulation exceptionnel, lié à l'abondance des espaces intercellulaires de la médulle. En outre, des mucilages et des substances lichéniques forment un véritable milieu interne où sont stockés les polluants.

En effet, la présence des acides lichéniques au niveau extracellulaire constitue une première ligne de défense contre l'invasion des polluants atmosphériques et surtout celle des éléments traces métalliques. Ces substances possèdent des groupements capables de fixer les cations métalliques à l'extérieur des cellules et de diminuer leurs effets délétères (BOUZIANE, 2006).

Cette étude a pour objet l'évaluation du pouvoir accumulateur de deux espèces lichéniques (*Xanthoria parietina* et *Ramalina fastigiata*) vis-à-vis de deux métaux lourds (Pb et Cd).

Notre travail est scindé en deux parties et chaque partie est subdivisée en chapitres. La première partie est bibliographique qui est une synthèse sur les théories en rapport avec le sujet de notre étude, elle contient donc deux chapitres :

INTRODUCTION

- Chapitre I : porté sur des généralités sur les lichens.
- Chapitre II : porté sur la relation entre les lichens et la pollution.

La deuxième partie est expérimentale et méthodologique, contient deux chapitres :

- Chapitre III : représente l'approche méthodologique (Matériels et méthodes)
- Chapitre IV : représente les résultats obtenus et leurs discussions.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale avec des perspectives de recherche.

A decorative scroll graphic with a black outline and a white fill. The scroll is oriented horizontally and has a small circular detail at the top right corner, suggesting it is a rolled-up document. The text "Chapitre I" is centered within the scroll in a bold, black, serif font.

Chapitre I

I.1. DEFINITION

Les lichens font partie des thallophytes, vaste ensemble de végétaux dépourvus de tiges, feuilles et racines, et qui ne sont donc pas vascularisés (VAN HALUWYN et LEROND, 1993). Ce sont des végétaux résultants de l'association intime et durable, autrement dit de la symbiose d'une algue ou phycobionte et d'un champignon ou mycobionte (JAHNS, 1996 ; KIRCHBUM et WIRTH, 1997).

I.2. LA SYMBIOSE LICHENIQUE

Le terme symbiose a été créé par le botaniste allemand DEBARRY en 1879 pour caractériser l'association entre l'algue et le champignon dans l'organisme des lichens (VAN HALLUWYN et LEROND, 1993).

La symbiose lichénique est avantageuse au champignon comme à l'algue, le champignon reçoit de l'algue les hydrates de carbone nécessaires à son existence. L'enveloppe que constitue le tissu fongique protège l'algue de pertes hydriques trop brutales, du rayonnement solaire trop intense ou de la consommation par les animaux. Grâce à la symbiose lichénique, les champignons et les algues associées augmentent considérablement leur aptitude écologique, ils sont alors en mesure de coloniser des milieux qu'ils ne pourraient occuper séparément (KIRSCHBAUM et WIRTH, 1997).

I.3. CLASSIFICATION DES LICHENS

Avant 1860, les lichens étaient considérés comme les mousses, puis rapprochés des fougères et des algues finalement des champignons.

Ce n'est qu'en 1867 qu'un botaniste suisse SCHEWENDENR, découvre la qualité profonde de ces organismes formés de l'union d'une algue et d'un champignon.

Depuis les lichens sont classés dans le règne fongique et étudiés par une nouvelle science nommée lichénologie. On distingue :

I.3.1. Les Ascolichens : Ce groupe de lichens comprend presque la totalité des lichens. Leurs mycosymbiote, est un ascomycète. Ils sont caractérisés par la formation de spores à l'intérieur des asques.

I.3.2. Les Basidiolichens : Leur mycosymbiote est un basidiomycète. Les spores sont produites par des basides sur un hyménium lisse.

I.3.3. Les hypolichens : Leur mycosymbiote est imparfait.

I.4. MORPHOLOGIE :

Le thalle constitue l'essentiel des lichens et porte les organes reproducteurs (DERELLE et LALLEMANT, 1993). Selon la morphologie du thalle, six types fondamentaux se distinguent (VAN HALLWUYN et LEROND, 1993):

- Thalle foliacé ;
- Thalle crustacé ;
- Thalle gélatineux ;
- Thalle composite ;
- Thalle fruticuleux ;
- Thalle squamuleux.

I.5. ANATOMIE DU THALLE

Il existe deux types de structure du thalle :

- Structure homéomère ;
- Structure hétéromère.

I.5.1. Structure homéomère

La répartition des constituants est assez homogène dans l'épaisseur du thalle mais avec une densité importante près de deux phases. Cette structure caractérise surtout les thalles gélatineux.

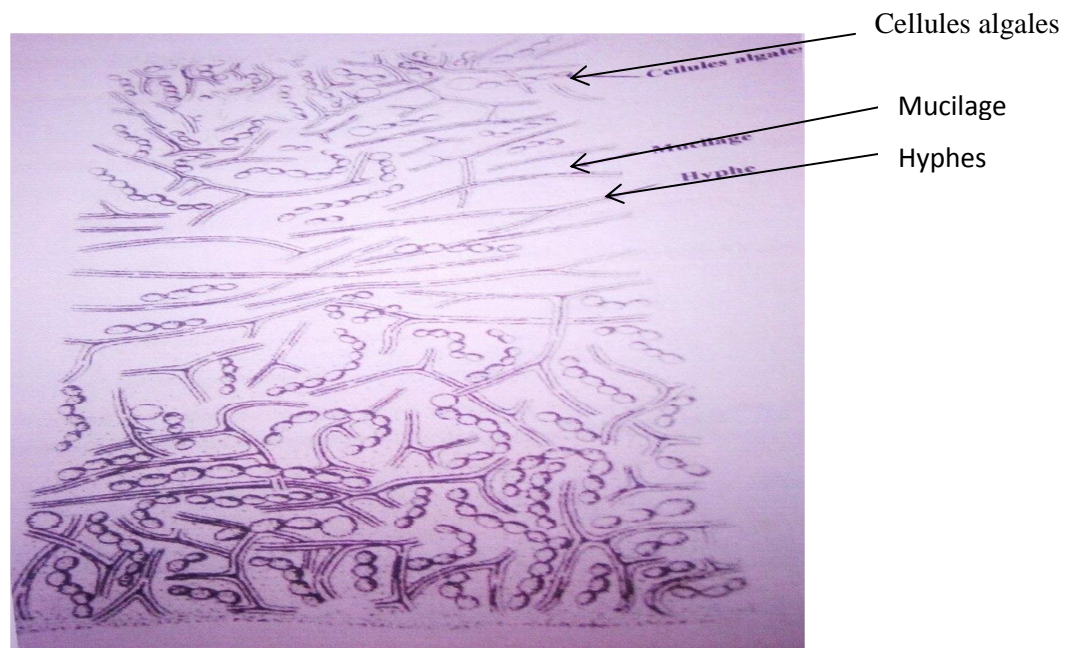


Figure 01: structure homéomère de *Collema tenax* (OZENDA et CLAUSADE, 1970).

I.5.2. Structure hétéromère

Elle est caractérisée par l'existence de plusieurs couches superposées bien visibles sur une section transversale sauf dans la structure filamenteuse.

Le photosymbiote constitue une zone bien délimitée entre les couches du mycosymbiote.

Il existe trois types de structures :

I.5.2.1. structure stratifiée

Correspond à la présence de couches superposées (TROTET, 1968).

Une coupe transversale montre à partir de la face supérieure :

- Un cortex supérieur de nature fongique à hyphes très serrés ;
- Une couche algale comportant également des hyphes beaucoup plus lâches ;
- Une médulle à hyphes encore plus lâches ;
- Un cortex inférieur à hyphes serrés.

EX : *Lobaria pulmonaria*.

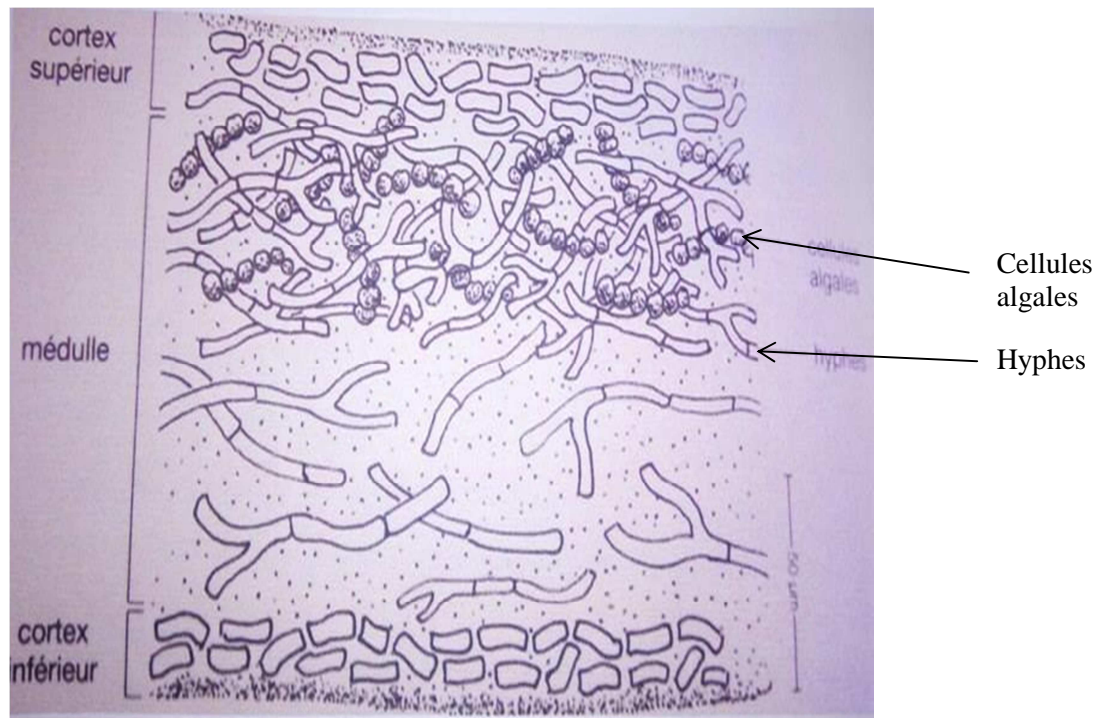


Figure02 : structure hétéromère stratifiée de *Lobaria pulmonaria* (TIEVANT, 2001).

La plupart des thalles foliacés, un grand nombre de thalles crustacés, très peu de lichens fruticuleux possèdent cette structure (OZENDA et CLAUZADE, 1970).

I.5.2.2. Structure radiée

La majorité des lichens fruticuleux correspond à une structure radiée où les couches sont disposées concentriquement, et la couche gonidiale fait tout le tour de la section transversale à l'exception de certains *Cladonia*, particulièrement le sous genre *Cladina*, la couche gonidiale est discontinue (OZENDA et CLAUZADE, 1970).

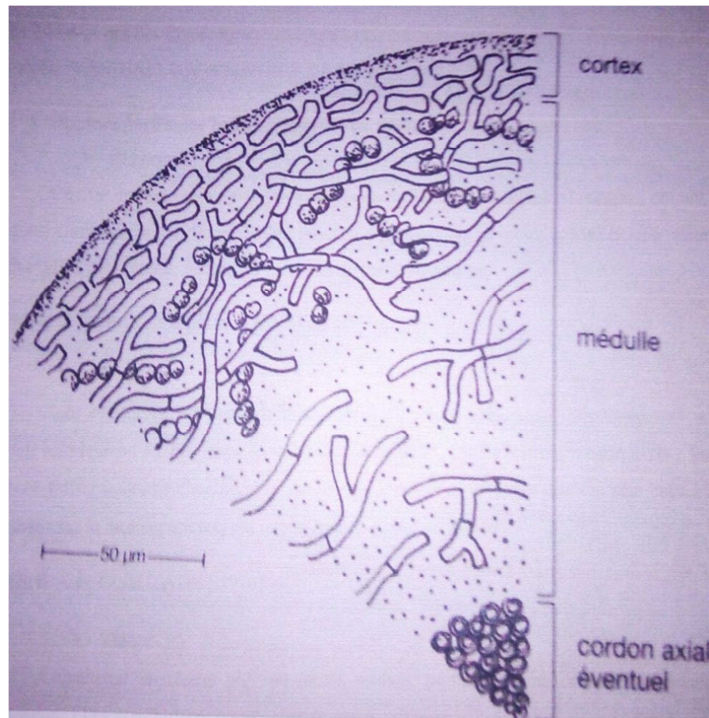


Figure 03 : structure hétéromère radiale : coupe transversale du thalle (TIEVANT,2001).

I.5.2.3. Structure filamenteuse

Il s'agit d'un type de structure peu répandu. Le thalle est constitué par des filaments de chlorophycées ou de cyanophytes revêtus par une gaine d'hyphes.

Ce type se rencontre chez les thalles filamenteux et quelques thalles gélatineux.

EX : *Ephebe lanata*.

I.6. REPRODUCTION DES LICHENS

Les lichens peuvent se propager par multiplication végétative : il y'a dispersion du complexe lichénique (cellules algale et hyphes de champignons) par des structures organisées telles que les isidies et les soralies ou plus simplement par fragments du thalle.

Les lichens peuvent porter des structures de la reproduction sexuée (périthèces, apothécies) mais elles ne concernent que le mycosymbiote. Ces structures libèrent des spores qui doivent entrer en contact avec les cellules algales adéquates pour qu'un nouveau thalle lichénique puisse se développer, il est possible d'observer des structures de multiplication végétatives des champignons, les pycnides (CHATARD, 1998).

I.7. Usage des lichens

Les lichens ont été utilisés dès l'antiquité comme plantes médicinales et pour une foule d'usages alimentaires et artisanaux. Ils ont été employés comme nourriture pour l'homme et le bétail, mais seulement dans les régions très pauvres ou bien en période de disette ou de guerre. Ils ont tenu longtemps une place notable dans l'industrie des colorants et d'autres essais d'extractions chimiques au XIX^{ème} siècle. Toutefois, leur utilisation comme source d'antibiotique ou indicateur de conditions du milieu naturel, leur confère une grande importance (OZENDA, 2000).



Chapitre II

II.1. Définition de la pollution atmosphérique

En 1996, selon la loi Française sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (dite loi LAURE) intégrée dans le code de l'Environnement en 2000, la pollution atmosphérique est définie comme : *"L'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives"* (GUILLON, 2011).

II.2. Les métaux lourds polluants de l'atmosphère

La plupart des métaux se trouve dispersée dans la nature, dans les roches, les filons de minerais, le sol, l'eau et l'air (FRANKC. LU et *al.* , 1993).

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de sources naturelles et humaines. Cette contamination a plusieurs origines telles que la combustion des fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion et l'infiltration.

De tous les métaux lourds et autres éléments toxiques contaminants la biosphère, le plomb constitue actuellement au même titre que le mercure (Hg) et devant le cadmium (Cd), le plus ubiquiste et l'un des plus toxiques de ces polluants (RAMADE, 2007).

II.2.1. Le Plomb

Le plomb, du latin plumbum fait partie des éléments traces métalliques non essentiels (MIQUEL, 2001) les plus abondants et les plus largement répandus (MISHRA et *al.* , 2006), malléables, ayant une faible résistance à la rupture, de couleur gris-bleuâtre, habituellement présents en petite quantité dans la croûte terrestre sous forme métallique et de sulfure de plomb (PbS) : la Galène, de carbonate de plomb (PbCO₃) : la Cérusite et de sulfate de plomb (PbSO₄) : l'Anglésite, à des teneurs variant de 13 à 200mg/kg. Il n'a ni goût, ni odeur caractéristique.

II.2.1.1.Effet du plomb

De nombreuses études ont été menées dans le but d'évaluer l'impact du plomb sur l'environnement les travaux de WARREN et DELARAULT (1960) ; DERUELLE (1980) ; SEMADI (1989) ; SAHMOUNE (2001).

A. sur la santé humaine

Une exposition chronique au plomb provoque des effets nocifs sur la santé humaine en affectant le système nerveux, immunitaire, rénal, gastro-intestinal, cardio-vasculaire et reproductif (KIM, 2004).

B. sur les végétaux

-Les traitements par le plomb accélèrent la sénescence et inhibe également la photosynthèse et la transpiration des plantes (BAZZAZ et al ., 1975) ;

-Chez les plantes de *Cannabis indica* la fréquence des stomates diminue en réponse au stress induit Par le plomb d'origine automobile (DELETRAZ et PAUL, 1998).

II.2.2. Le Cadmium

Le cadmium est un métal blanc argenté avec des teintes de bleu appartenant à la famille des métaux de transition. Le cadmium élémentaire a un numéro atomique de 48 et une masse atomique de 112,4 g/mol.

Le cadmium se trouve souvent associé dans les roches aux éléments du même groupe, comme le zinc et le mercure (McLaughlin et Singh, 1999).

II.2.2.1. Effets du Cadmium**A. sur la santé humaine**

Le cadmium et ses dérivés sont classés par le CIRC (centre international de recherche contre le cancer) dans le groupe 1 des substances cancérigènes pour l'homme en raison des cancers de la prostate et cancers du poumon dont ils sont possiblement responsables.

B. Sur les végétaux

Chez les plantes, le Cadmium n'a aucune fonction biologique connue (Polerny et al., 2004), et il est toxique à de faibles concentrations (De la Rosa et al., 2004).

Les symptômes que présente une plante cultivée en présence de Cadmium sont l'inhibition de la croissance, la diminution de sa biomasse, la chlorose, la nécrose, la perturbation des flux d'eau, la déficience en phosphore et en azote, l'accélération de la sénescence, l'apparition du retard dans le développement des jeunes pousses et des perturbations de la photosynthèse (Cosio,2005 ; Clemens,2006).

II.3. LES LICHENS BIO-INDICATEURS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

II.3.1. Définitions :

- ❖ **Le bio- indicateur ou indicateur biologiques** : c'est un organisme ou ensemble d'organismes qui, par référence à des variables, biologiques, physiologiques, éthologiques, permet de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un éco-complexe de mettre en évidence, aussi précocement que possible, leurs modifications naturelles ou provoquées. » (BLANDIN, 1986 ; VAN HALLUWYN & LEROND, 1993).
- ❖ **Les bio-accumulateurs** : sont des végétaux résistants, par lesquels on peut estimer la qualité totale d'un polluant accumulé dans la plante au bout d'un temps donné, sans que cette accumulation ne perturbe son métabolisme.
- ❖ **Les bio-estimateurs** : sont des végétaux capables de quantifier le niveau de pollution à partir de leur présence ou leur absence, ainsi que la composition relative des espèces dans les communautés végétales (DERUELLE et LETROUIT, 1980).

II.3.2. Méthodes de bio-indication

Trois méthodes de bioindication lichénique ont été développées dans différentes régions par la directive de l'association des ingénieurs allemands (VDI). (KIRSHBUM et WIRTH, 1997).

- La méthode de cartographie lichénique ;
- La méthode de l'indice de toxitolerance ;
- La méthode de transplantation lichénique.

II.3.2.1. La méthode de cartographie lichénique

Cette méthode est fondée sur l'observation de la végétation lichénique, en utilisant les critères suivants : nombre d'espèces, fréquence et recouvrement. On distingue les méthodes suivantes :

A. Méthodes qualitatives

Représentées par des échelles d'estimation de la pollution acide (par le SO₂) en utilisant uniquement la végétation lichénique.

Deux méthodes sont souvent utilisées :

❖ Méthode qualitative de HAWKSWORTH et ROSE, 1970

Les travaux de HAWKSWORTH et ROSE (1970) ont conduit à l'établissement d'une échelle de sensibilité des espèces lichéniques vis-à-vis de la pollution atmosphérique et plus

précisément vis-à-vis de la pollution par le SO₂. Ces auteurs ont ainsi établi une échelle de corrélation lichens-pollution comportant onze niveaux numérotés de zéro (pollution forte) à dix (air pur) ; chaque niveau est défini par plusieurs espèces d'amplitude écologique assez large regroupées en communautés différentes selon qu'elles se développent sur écorce basique (arbre à écorce eutrophisée) ou acide (arbres à écorce non eutrophisée). (tableaux 01et 02) (ASTA et al, 1998).

Tableau 01: Echelle qualitative pour l'estimation de la pollution atmosphérique en Angleterre et aux Pays de Galles utilisant les lichens épiphytes sur des écorces eutrophisées (d'après HAWKSWORTH et ROSE, 1970).

Zone	Espèces caractéristiques	SO ₂ en µg/m ³
0	Epiphytes absents	?
1	<i>Plurococcus viridis</i> s.l. s'étend sur le tronc.	Environ 170
2	<i>Lecanora conizaeides</i> abondant ; <i>Lecanora expallens</i> apparait parfois à la base des troncs.	Environ 150
3	<i>Lecanora expallens</i> et <i>Buellia punctatata</i> abondants ; apparition de <i>Buellia canescens</i> .	Environ 125
4	<i>Buellia canescens</i> commun ; apparition de <i>physcia adscendens</i> de <i>Xanthoria parietina</i> à la base ; <i>Physcia tribacia</i> apparait dans le sud.	Environ 70
5	<i>Physconia grisea</i> ; <i>P.farrea</i> , <i>Buellia alboatra</i> , <i>Physcia orbicularis</i> ; <i>P.tenella</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Haematomma coccineum</i> var. <i>porphyrium</i> , <i>Schismatomma decolorans</i> , <i>Xanthoria delaria</i> , <i>Opegrapha varia</i> et <i>O.vulgata</i> apparaissent ; <i>Buellia canescens</i> et <i>X.parietina</i> communs ; <i>Parmelia acetabulum</i> apparait dans l'est.	Environ 60
6	<i>Pertusaria albescens</i> , <i>Physconia pulverulenta</i> , <i>Physciopsis adgtutinata</i> , <i>Arthopyrania alba</i> , <i>Caloplaca luteoalba</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i> et <i>Lecania cyrtella</i> sont présents ; <i>Physconia grisea</i> , <i>Physcia orbicularis</i> , <i>Opegrapha varia</i> et <i>O.vulgata</i> deviennent abondants.	Environ 50
7	<i>Physcia aipola</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Bacidia rubella</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> , <i>Candelaria concolor</i> , <i>Arthopyrenia biformis</i> font leur apparition	Environ 40
8	<i>Physcia aipola</i> abondant ; <i>Anaptychia ciliaris</i> fructifié ; <i>Parmelia perlata</i> , <i>P.reticulata</i> (Set W) ; <i>Gyakecta flotowii</i> , <i>Ramalina obtusata</i> , <i>R.pollinaria</i> et <i>Dezmaziera evernioides</i> apparaissent.	Environ 35
9	<i>Ramalina calicaris</i> , <i>R.subfarinacea</i> , <i>physcia leplatea</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i> et <i>C.cernia</i> .	Environ 30
10	Comme zone 9.	Air pur

Tableau 02 : Echelle qualitative pour l'estimation de la pollution atmosphérique en Angleterre et aux Pays de Galles utilisant les lichens épiphytes sur des écorces non eutrophisées (d'après HAWKSWORTH et ROSE, 1970).

Zone	Espèces caractéristiques	SO ₂ en µg/m ³
0	Epiphytes absents	?
1	<i>Plurococcus viridis s.l.</i> présent mais limités à la base du tronc.	Environ 170
2	<i>Pleurococcus s.l.</i> s'étend sur le tronc ; <i>Lecanora conizaeides</i> limité à la base.	Environ 150
3	<i>Lecanoria conizaeodes</i> s'étend sur le tronc ; <i>Lepraria incana</i> devient fréquent à la base.	Environ 125
4	<i>Hypogymnia physodes</i> et/ou <i>Parmelia saxatilis</i> ou <i>Parmelia sulcata</i> apparaissent à la base de tronc mais ne s'étend pas. <i>Lecidea scalaris</i> , <i>Lecanora expallens</i> et <i>Chaenotheca ferruginea</i> souvent présents.	Environ 70
5	<i>Hypogymnia physodes</i> ou <i>P.saxatilis</i> s'étendent jusqu'à 25m ou plus ; <i>P.glabratula</i> , <i>P.subrudecta</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> et <i>Lecanora chlorotera</i> font leur apparition ; <i>Calcicium viride</i> , <i>Lepraria candelaris</i> , <i>Pertusaria amara</i> peuvent apparaître ; si <i>Ramalina farinacea</i> et <i>Eevrnia prunastri</i> sont présents, ils sont limités à la base ; <i>Platismatia glauca</i> peut être présent sur les branches horizontales.	Environ 60
6	<i>Parmelia caperata</i> présent au moins à la base, riches communautés de <i>Pertusaria</i> (<i>P.albescens</i> , <i>P.hymenea</i>) et de <i>Parmelia</i> (<i>P.revoluta</i> sauf dans le N.E), <i>P.tiliacea</i> , <i>P.exasperatula</i> (N), <i>Graphis elegans</i> ; <i>Pseudovernia furfuracea</i> et <i>Alectoria fuscescens</i> présents dans les régions montagneuses.	Environ 50
7	<i>Parmelia caperata</i> , <i>P.revoluta</i> (sauf dans le N.E), <i>P.tiliacea</i> , <i>P.exasperatula</i> (dans le N) s'étend sur le tronc ; apparition de <i>Pertusaria hemispherica</i> , <i>Usnea subfloridana</i> , <i>Rinodina roboris</i> (dans le sud) et <i>Arthonia impolita</i> (dans l'E).	Environ 40
8	<i>Usnea ceratina</i> , <i>Parmelia perlata</i> ou <i>P.reticulata</i> (S et W) apparaissent ; extension de <i>Rinodina roboris</i> (S) ; <i>Normondina pulchulla</i> et <i>U.rubigena</i> (S) généralement présents.	Environ 35
9	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>L.amplissima</i> , <i>Pachyphialecornea</i> , <i>Dimerilla lutea</i> ou <i>Usnea florida</i> présents ; si ces espèces sont absentes, les lichens crustacées sont très bien développés avec généralement plus de 25 espèces sur des arbres bien illuminés.	Environ 30
10	<i>Lobaria amplissima</i> , <i>L.serobiculata</i> , <i>Sticta limbata</i> , <i>Pannaria ssp</i> , <i>Usnea articulata</i> , <i>U.filipendula</i> ou <i>Teloschistes flavicans</i> .	Air pur

Cette méthode a été utilisée à plusieurs reprises notamment en Grande-Bretagne et en France (LEROND, 1981, VAN HALLUWYN, 1973, DERUELLE, 1983, BELANDRIA et ASTA, 1986).

❖ Méthode qualitative de VAN HALLUWYN et LEROND (1986)

Cette technique, apparue dans la moitié Nord de la France, vers 1986 et basée sur une nouvelle technique utilisant les principes de la lichénosociologie. Ces auteurs proposent d'utiliser une échelle de (07) zones notées de A à G définies à partir d'espèces facilement identifiables.

Les premières zones peuvent être mises en corrélation avec des teneurs de SO₂ supérieures à un seuil de 30µg/m³, les deux dernières avec des teneurs de SO₂ inférieures à un seuil de 30µg/m³. (ASTA et al, 1998). (tableau03).

**Tableau 03: Echelles d'estimation de la qualité de l'air de la moitié Nord de la France
(VAN HALLUWYN et LEROND, 1986).**

Zones	Espèces de lichens, d'algues ou de bryophytes	Teneurs en SO ₂ en µg/m ³ (moyennes annuelles).
A	<i>Pleurococcus viridis</i>	Supérieures à 30µg
B	<i>Buellia punctata</i> , <i>Lecanora conizaeodes</i>	
C	<i>Lecanora expallens</i> <i>Lepraria incana</i>	
D	<i>Deploicia canescens</i> <i>Lecidella elaeochroma</i> <i>Physcia tanella</i> <i>Xanthoria polycarpe</i>	
E	<i>Candelariella xanthostigma</i> , <i>Decranoweisia cirrhata</i> <i>Evernia prunastri</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Pseudovernia furfuracea</i> <i>Physcia adscendence</i> <i>Xanthoria parietina</i>	Inférieures à 30µg
F	<i>Frullania dilatata</i> <i>Hypnum cupressiforme</i> <i>Parmelia acetabulum</i> <i>P.caperata</i> <i>P.glabratula</i> <i>P.plastillifera</i> <i>P.soredians</i> <i>P.subaurifera</i> <i>P.subrudecta</i> <i>P.tiliacea</i> <i>Pertusaria amara</i> <i>Pertusaria pertusa</i> <i>Phaeophyscia orbicularis</i> <i>Phlyctis argena</i> <i>Physconia grisea</i> <i>Ramalina farinacea</i> <i>Ramalina fastigiata</i> <i>Xanthoria candelaris</i>	
G	<i>Anaptychia ciliaris</i> <i>Parmelia perlata</i> <i>Parmelia reticulata</i> <i>Parmelia revoluta</i> <i>Physcia aipolia</i> <i>Physconia pulverulacea</i> <i>Ramalina fraxinea</i>	

B. Méthodes quantitatives**❖ Méthode quantitative de LEBLAND et DESLOOVER (1970)= indice de pureté de l'air (I.A.P)**

Elle permet d'estimer la pollution atmosphérique après le calcul mathématique de l'indice de pollution, déterminée à partir de données quantitatives (nombre d'espèces, recouvrement, fréquence) de la flore lichénique. (DERUELLE, 1983).

Elle est connue sous le nom de I.A.P (Index of Atmospheric Purity) et nécessite le calcul d'une formule mathématique utilisant différents paramètres relatifs à la flore lichénique.

$$IAP = 1/10 \cdot \sum_1^n Q \cdot f$$

Dont :

IAP : indice de pureté atmosphérique (Index of Atmospheric purity).

n: nombre d'espèces dans la station.

Q : indice écologique de chaque espèce ; moyenne du nombre d'espèces accompagnant l'espèce retenue dans toutes les stations où elle est présente.

f : traduit le coefficient de recouvrement et la fréquence de chaque espèce, évaluée par un chiffre allant de 1 à 5. (tableau 04).

1/10 : les auteurs ont divisé par 10 afin d'éviter des valeurs très élevées.

Tableau 04: valeurs du coefficient f de la formule de l'IAP selon LEBLAND et DESLOOVER (1970).

Coefficient	Définition
1	Espèces très rares et à faible recouvrement
2	Espèces très peu fréquentes ou avec un faible recouvrement
3	Espèces peu fréquentes ou avec fort degré de recouvrement sur quelques arbres
4	Espèces fréquentes ou avec fort degré de recouvrement sur quelques arbres
5	Espèces très fréquentes et avec un haut recouvrement sur la majorité des arbres

Cette méthode a été utilisée dans plusieurs pays du monde, notamment en Suisse (CLERC et ROM, 1980) au Canada DESLOOVER et SEMADI, 1970) et en Algérie par RAHALI et SEMADI, 1998.

❖ Indice de qualité de l'air

C'est une nouvelle méthode de cartographie lichénique basée sur l'utilisation des lichens comme bio-indicateurs. Elle consiste à définir d'abord un maillage sur la zone à étudier et d'établir le recouvrement des espèces après leurs identification sur six arbres dans chaque maille.

Pour chaque espèce, la fréquence moyenne est calculée sur les six arbres étudiés, puis les fréquences des différentes espèces sont additionnées (celle de *Lecanora conizaeoides* est déduite comme espèce pollutotolérante). La somme des fréquences est égale à l'indice de qualité de l'air. Plus l'indice est élevé, plus la pollution atmosphérique est faible.

II.3.2.2. Méthode de toxitolérance

C'est une mesure de la résistance d'une espèce à la pollution atmosphérique à partir d'observations sur le terrain.

C'est une méthode d'estimation de la pollution de l'air à partir d'un indice que l'on appelle l'indice de toxitolérance.

Cette valeur est d'autant plus basse que l'espèce correspondante est sensible et caractérisera d'autant mieux l'état de la qualité de l'air. A l'inverse une valeur élevée ne peut permettre de conclure à une forte pollution car la plupart des espèces résistantes apparaissent également sous plus faible pollution (KIRCHBUM et WIRTH, 1997). (tableau05).

Tableau 05 : Indice de toxitolérance des lichens.

Espèces	Indice	Espèces	Indice
<i>Lecanora conizaeoides</i>	9	<i>Lecanora carpinea</i>	5
<i>Lepraria incana</i>	9	<i>Parmelia glabratula</i>	5
<i>Lecanora expallens</i>	9	<i>Parmelia tiliacea</i>	5
<i>Buella punctata</i>	9	<i>Platismatia glauca</i>	5
<i>Hypocenomyce sclaris</i>	8	<i>Ramalina farinacea</i>	5
<i>Hypogymnia physodes</i>	8	<i>Xanthoria candelaria</i>	5
<i>Lecanora hagenii</i>	8	<i>Xanthoria fallax</i>	5
<i>Parmelia sulcata</i>	8	<i>Bryoria fuscescens</i>	4
<i>Phaeophysica orbicularis</i>	8	<i>Candelaria concolor</i>	4
<i>Physcia adsendens</i>	8	<i>Lecanora argentata</i>	4
<i>Physcia tenella</i>	8	<i>Ochrolechia turneri</i>	4
<i>Parmelia saxatilis</i>	8	<i>Pertusaria albescens</i>	4
<i>Parmelia ambigua</i>	7	<i>Pertusaria amara</i>	4
<i>Physconia grisea</i>	7	<i>Pertusaria coccodes</i>	4
<i>Xanthoria parietina</i>	7	<i>Pertusaria flavida</i>	4
<i>Xanthoria polycarpa</i>	7	<i>Pertusaria pertusa</i>	4
<i>Candelariella xanthostigma</i>	7	<i>Physcia aipolia</i>	4
<i>Candelariella reflexa</i>	6	<i>Physcia stellaris</i>	4
<i>Hypogymnia farinacea</i>	6	<i>Physconia perpsidiosa</i>	4
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	6	<i>Ramalina pollinaria</i>	4
<i>Lecanora chlorotera</i>	6	<i>Usnea hirta</i>	4
<i>Lecanora pulicaris</i>	6	<i>Lecanora allophana</i>	3
<i>Lecanora saligua</i>	6	<i>Parmelia caperata</i>	3
<i>Lecidella elaeochroma</i>	6	<i>Parmelia pastillifera</i>	3
<i>Parmelia acetabulum</i>	6	<i>Parmelia subargentifera</i>	3
<i>Parmelia exasperatula</i>	6	<i>Physconia distorta</i>	3
<i>Parmelia flaventior</i>	6	<i>Physconia enteroxantha</i>	3
<i>Parmelia subrudecta</i>	6	<i>Usnea filipendula</i>	3
<i>Phlyctis argena</i>	6	<i>Anaptychia ciliaris</i>	2
<i>Pseudoveria furfuracea</i>	6	<i>Ramalina fastigiata</i>	2
<i>Cetraria chlorophylla</i>	5	<i>Ramalina fraxinea</i>	2
<i>Evernia prunastri</i>	5		

II.3.2.3. Méthode de transplantation

La transplantation est une technique de terrain, utilisée pour l'étude des effets de la pollution de l'air, de l'accumulation des polluants par les lichens. (SIGNORET, 2002).

La transplantation intéresse le lichen seul, ou plus souvent le lichen et son substrat (les épiphytes par exemple).

Cette méthode peut être réalisée en transportant des blocs de sol (200m²), il s'agit de lichens terricoles.

Les espèces lichéniques transplantées dans la zone d'étude sont exposées pendant un temps déterminé, suite à cela, une minéralisation sera effectuée, suivie d'un dosage et les

résultats obtenus seront comparés à ceux des échantillons témoins prélevés en dehors du site de pollution.

En Algérie, cette technique a été utilisée dans la région d'Annaba (SEMADI, 1989), et dans la région de Tizi-Ouzou, (SAHMOUNE, 2001), pour l'étude de la pollution plombique d'origine automobile.

II.4. Impact de la pollution atmosphérique sur les lichens

Chez la plupart des lichens exposés aux polluants atmosphériques, on peut noter la disparition des apothécies (organes de la reproduction sexuée du champignon), des décolorations, des brunissements, une destruction des couches superficielles du thalle ou de l'extrémité des lobes et une diminution de l'activité photosynthétique de l'algue.

A l'approche des villes et des zones industrielles, la flore lichénique subit des modifications se traduisant par une diminution du nombre et de recouvrement des espèces et par une régression de la fertilité (DERUELLE, 1983).

Le degré des dommages causés dépend de la durée d'exposition, des concentrations du polluant, de la sensibilité des lichens, des conditions environnementales et principalement de la toxicité du polluant.

Ce fait pourrait être illustré par l'exemple suivant :

La différence de sensibilité à la pollution acide (SO₂), est montrée entre deux espèces lichéniques *Lobaria pulmonaria* et *Lecanora conizaeoides*.

La première (*Lobaria pulmonaria*) disparaît lorsque la concentration en SO₂ dépasse 30µg/m³ d'air. Au contraire la deuxième (*Lecanora conizaeoides*) est le lichen qui s'approche le plus du centre ville (il supporte 150µg de SO₂/m³ d'air).

La figure représente les effets des polluants sur les lichens (LETROUIT, 1993).

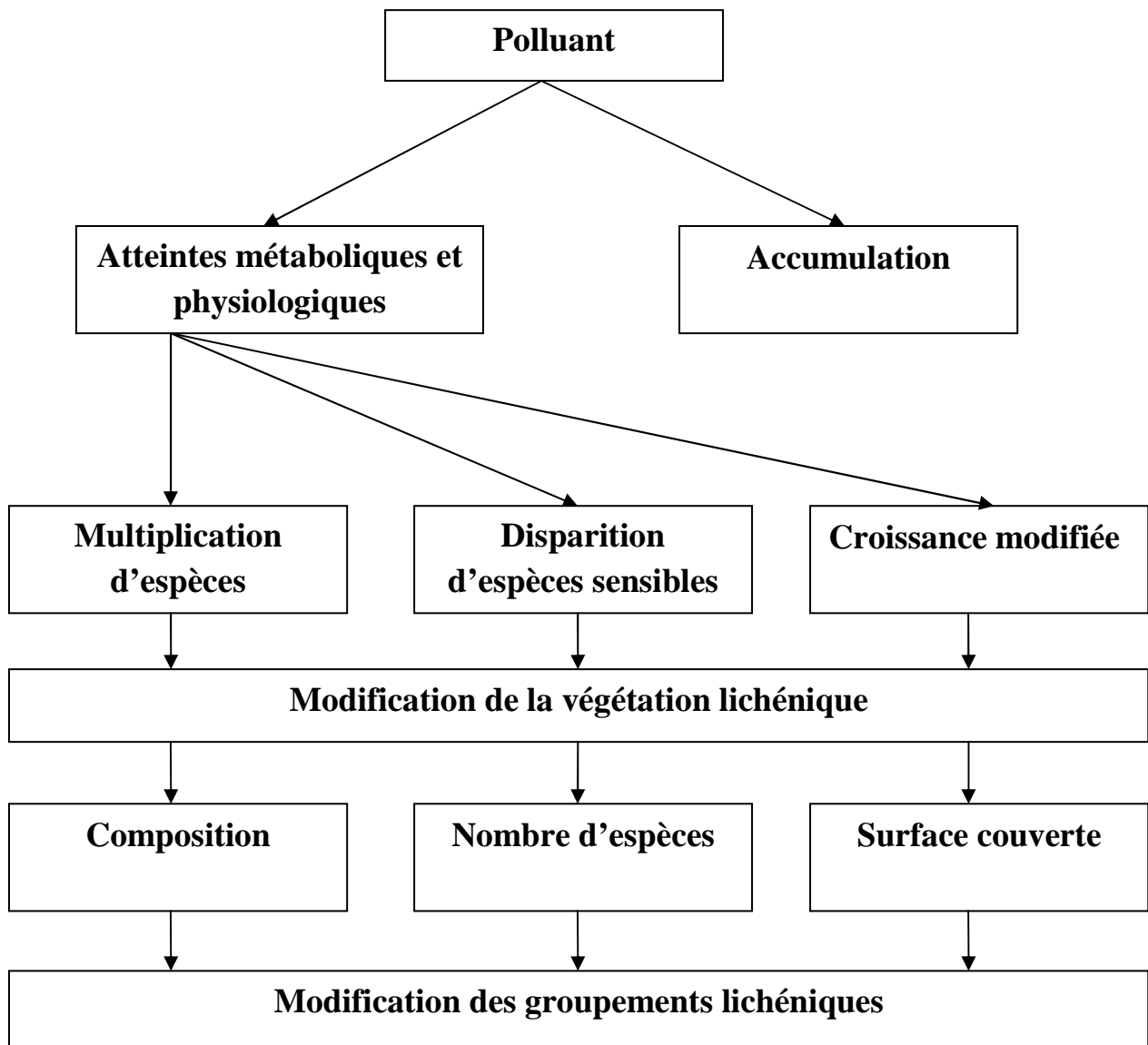


Figure 04 : Organigramme représentant les réactions des lichens aux polluants (LETROUT, 1993).



Chapitre III

III. Matériels et Méthodes

III.1. Matériels

III.1.1. Présentation des sites de récolte et du matériel végétal

Les espèces *Xanthoria parietina*, *Ramalina fastigiata* ont été récoltées au mois de février 2017 à YAKOURENE, située à 46 km à l'est de Tizi-Ouzou et à 11 km à l'est d'AZAZGA et dépassant les 600m d'altitude.

Les lichens sont séparés de leur substrat naturel à l'aide d'un couteau ou bien à la main.

Les échantillons sont recueillis dans des sachets en papier, par la suite ils sont transportés au laboratoire et déposés soigneusement sur des feuilles de papier afin d'être séchés sans être détériorés.



Figure 05: localisation du site de prélèvement (YAKOURENE) (Anonyme, 2017).



Figure 06: *Ramalina fastigiata* (Originelle, 2017).



Figure 07: *Xanthoria parietina* (Originelle, 2017).

II.1.1.1. Approche d'identification des deux espèces lichéniques**❖ Identification de l'espèce 1**

- Lichen fruticuleux en forme de lanières, gris à vert jaunâtre, avec apothécies ;
- Thalle fruticuleux en forme de buisson, jusqu'à 5 cm ;
- Faces supérieure et inférieure de structure et de couleur identiques ;
- Lobes larges (1-5mm), presque tous de la même longueur, gris verdâtres, gris jaunâtre, d'aspect gras légèrement brillant, sans pseudo-cyphelles ;
- Apothécies surtout aux extrémités renflées des lobes (2-5mm), disque d'abord cupuliforme puis convexe.

➤ Il s'agit de *Ramalina fastigiata*.

❖ Identification de l'espèce 2

- Lichen foliacé jaune à grands lobes, à apothécies ;
- Thalle formant des rosettes jusqu'à 10 cm de diamètre ;
- Lobes 1-5mm de large, plats à légèrement concaves ;
- Face supérieure lisse à plissée, jaune orangé, jaune d'or à vert jaunâtre ;
- Face inférieure blanchâtre à rares rhizines simples et claires ;
- Apothécies (jusqu'à 4mm) presque toujours présentes, situées au milieu du thalle, sessiles à courtement stipitées, avec un rebord thallin net, disque plus sombre (orangé).

➤ Il s'agit de *Xanthoria parietina*

Tableau 06 : systématique des espèces lichéniques

Espèce	<i>Xanthoria parietina</i>	<i>Ramalina fastigiata</i>
systématique		
Règne	Fungi	Fungi
Embranchement	Ascomycota	Ascomycota
Sous/embranchement	Pezizomycotina	Pezizomycotina
Classe	Lecanoromycetes	Lecanoromycetes
Ordre	Teloschistales	Lecanorales
Famille	Teloschistaceae	Ramalinaceae
Genre	<i>Xanthoria</i>	<i>Ramalina</i>
Espèce	<i>Parietina</i>	<i>Fastigiata</i>

III.1.1.2. Indices écologiques des deux espèces lichéniques

❖ *Ramalina fastigiata* :

Lu (indice de luminosité) : 7, lichen semi-héliophile, souvent en plein lumière mais aussi à l'ombre.

Hu (indice d'humidité): 6, évite habituellement les endroits à faible précipitations, précipitations > 800mm.

Ec (valeur du pH de l'écorce): 6, pH subneutre.

Nu (capacités nutritive de l'écorce): 5, écorce minéralisée (ex : érables, noyer, sureau noir) ou moyennement imprégnée de poussières riches en substances nutritives.

To (toxitolérance vis-à-vis des polluants atmosphériques): 2, toxitolérance assez faible.

H (fréquence des thalles): +, espèce rare.

❖ *Xanthoria parietina*

Lu (indice de luminosité) : 7, lichen semi-héliophile, souvent en plein lumière mais aussi à l'ombre.

Hu (indice d'humidité): 3, supportant les stations à faibles précipitations, mais également présent en zone humide.

Ec (valeur du pH de l'écorce): 7, pH subneutre.

Nu (capacités nutritive de l'écorce): 6, écorce riche en matières nutritives.

To (toxitolérance vis-à-vis des polluants atmosphériques): 7, toxitolérance assez élevée.

H (fréquence des thalles): ++, espèce occasionnelle (KIRSCHBAUM et WIRTH, 1997).

III.1.2. Matériel chimique

Les produits chimiques nécessaires pour notre travail sont essentiellement : $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd N}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, l'acétone, H_2SO_4 , HNO_3 , H_2O_2 .

III.1.3. Appareil de mesure

L'appareil de mesure utilisé dans ce travail est essentiellement :

Le spectrophotomètre d'absorption atomique (SHIMADZU AA-6200) qui sert à doser les métaux lourds contenus dans les thalles lichéniques.



Figure 08 : spectrophotomètre d'absorption atomique (originelle, 2017).

III.2. Méthodes

III.2.1. Identification des échantillons lichéniques

L'identification des espèces lichéniques a été réalisée à l'aide d'une loupe, par observation des caractères morphologiques, telles que le type du thalle, la forme, la couleur, la hauteur et les structures reproductrices.

III.2.2. Extraction des substances lichéniques

- 0,5g de lichen ont été broyés et mis dans un tube à essai en présence d'1ml d'acétone ;
- Le mélange est macéré pendant 3h, il s'agit de l'extrait lichénique.

III.2.3. Isolement du composé majoritaire

- L'extraction a été réalisée à l'aide de 0,15g d'échantillon lichénique que nous avons broyé, la poudre obtenue a été introduite dans un tube à essai à laquelle nous avons rajouté 5ml d'acétone ;
- La macération a duré 3h ;
- Après évaporation du solvant, nous avons obtenu une poudre au fond du tube qui correspond au composé majoritaire du lichen.



Figure 09 : résultat de l'extraction des substances lichéniques (Originelle, 2017)



Figure 10 : le composé majoritaire (Originelle, 2017)

III.2.4. La microcristallisation

III.2.4.1. Des réactifs cristallogènes

Nous avons utilisé les mélanges mis au point par HUNECK et YOSHIMURA (1996) et ORANGE *et al.* (2010).

GAW= Glycérol-Ethanol-Eau ;

GE= Glycérol-Acide acétique glacial ;

GAA= Aniline-Glycérol-Ethanol ;

KK= Hydroxyde de potassium (KOH) ;

Carbonate de potassium (K_2CO_3) ;

Eau distillée.

III.2.4.2. Méthodologie

- La méthode consiste à déposer une goutte de l'extrait lichénique sur une lame et d'y rajouter un réactif cristallogène ;
- L'observation des cristaux est réalisée au laboratoire de géologie au grossissement x100 et x600 en lumière naturelle puis en lumière polarisée.

III.2.5. Dosage des métaux lourds

III.2.5.1. Préparation des solutions métalliques

Des solutions de Pb et de Cd ont été préparées à quatre concentrations différentes 10^{-3} mol/l, 2.10^{-3} mol/l, 10.10^{-3} mol/l et 20.10^{-3} mol/l.

	10^{-3} mol/l	2.10^{-3} mol/l	10.10^{-3} mol/l	20.10^{-3} mol/l
Pb	0,331g/l	0,662g/l	3,31g/l	6,62g/l
Cd	0.308g/l	0.616g/l	3.08g/l	6.61g/l

Après avoir préparé les solutions :

- 0.5g de thalle lichénique, de *Ramalina fastigiata* et de *Xanthoria parietina* immergés dans 25ml des solutions préparées de Pb et de Cd à différentes concentrations, dont le pH est ajusté à 3,5 au H_2SO_4 , pendant 30 min ;
- Sécher à l'étuve à $110^{\circ}C$ pendant 30 minutes.

II.5.2.2. Minéralisation

La minéralisation est obtenue par l'utilisation de divers acides seuls ou mélangés (HNO_3 , $HClO_4$, H_2SO_4) (GARTY, 1987) ou de l'eau oxygénée (H_2O_2), qui provoque une minéralisation totale des thalles en 72 heures. Après broyage, une quantité de 0,2g de matière sèche (pour tous les échantillons) est placée dans des piluliers remplis à moitié d'eau oxygénée H_2O_2 à 30% et mises à l'étuve à $90^{\circ}C$ pendant 72 heures.

II.5.2.3. Dosage

Après minéralisation, 15 à 20 ml d'acide nitrique (HNO_3) à 2% sont ajoutés dans chaque pilulier.

Le dosage est réalisé par la technique d'absorption atomique qui est la plus utilisée pour le dosage des métaux lourds (SEMADI, 1989 ; DERUELLE, 1992 ; GARTY, 1990 ; GOMBERT ASTA, 1997 ; KHALIL, 2000).



Chapitre IV

IV.1. Résultats

IV.1.1 Résultats de la microcristallisation

❖ L'acide usnique

Formation de cristaux jaunes en prismes, en aiguilles, souvent groupés en étoiles à branches irrégulières.

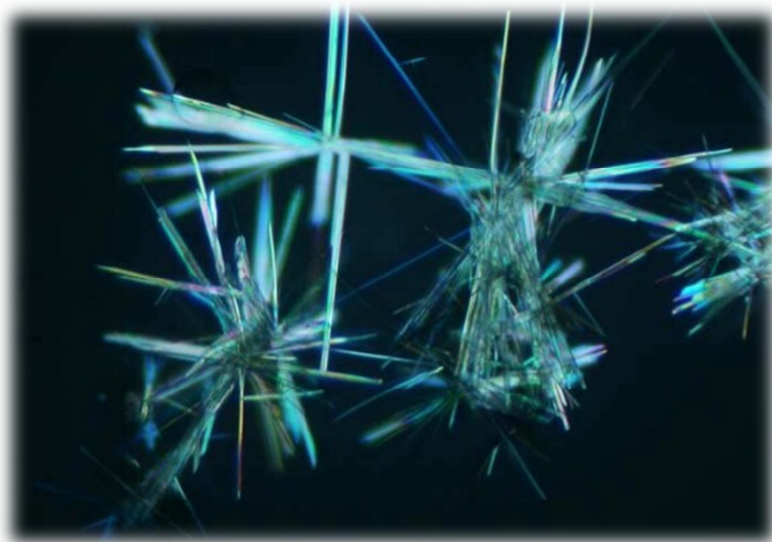


Figure 11: Acide usnique dans le milieu GE et GAW (LAGABRIELLE, 2014)

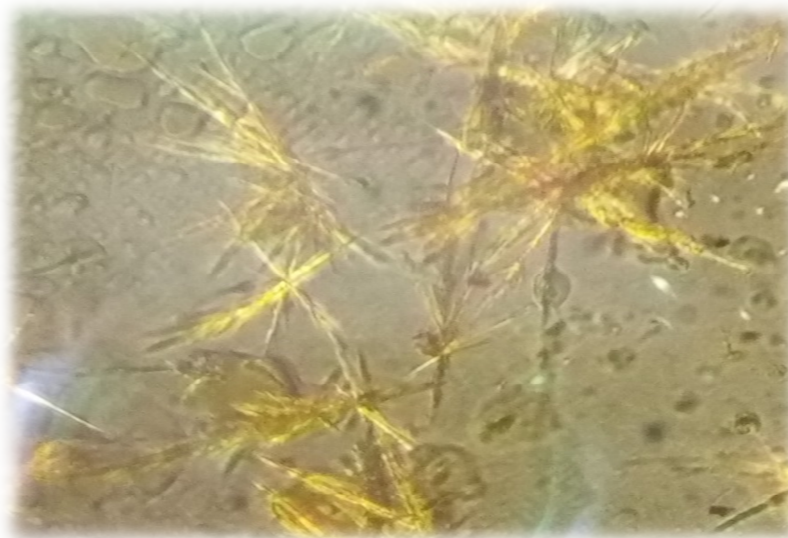


Figure 12 : Acide usnique chez *Xanthoria parietina* dans le milieu GE et GAW (Originelle, 2017)

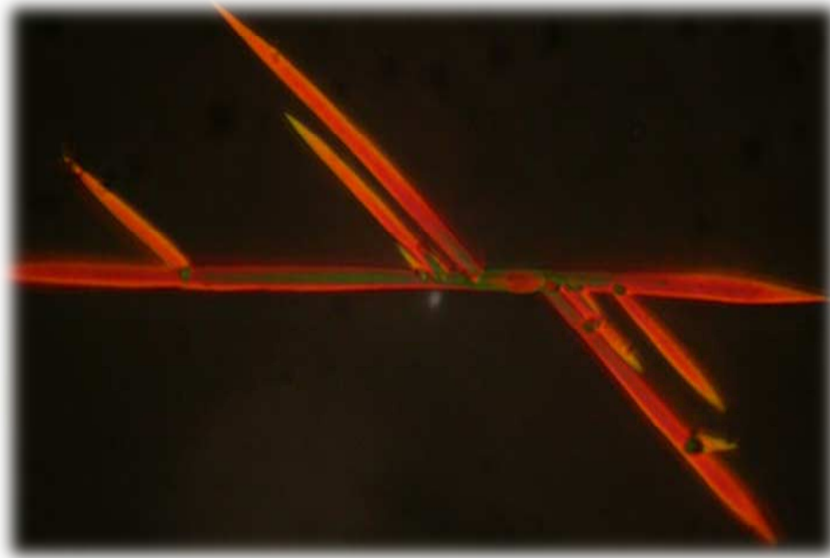


Figure 13: Acide usnique dans le milieu GAA_n (LAGABRIELLE, 2014).

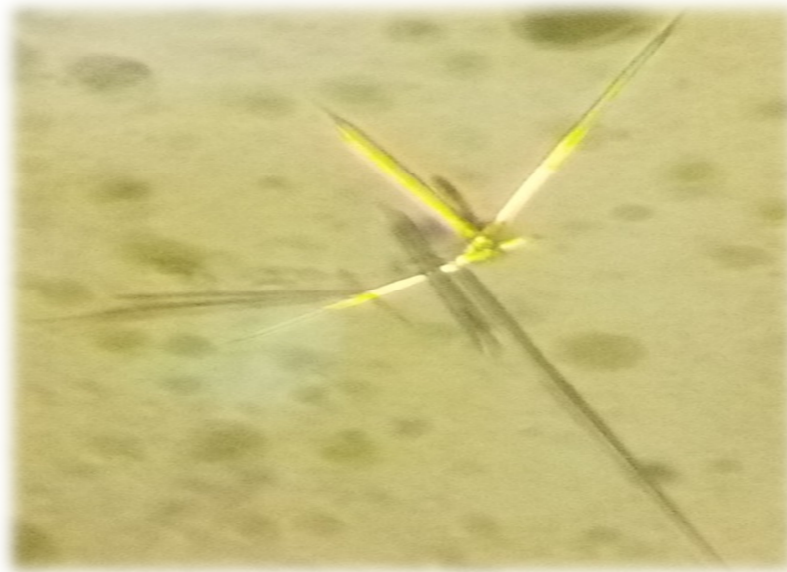


Figure 14: Acide usnique chez *Xanthoria parietina* dans le milieu GAA_n (Originelle, 2014).

❖ Acide salazinique

Formation de cristaux fusiformes en formes de bateaux de 100 à 150 microns, souvent regroupés en étoiles irrégulières (bonne conservation de la préparation).

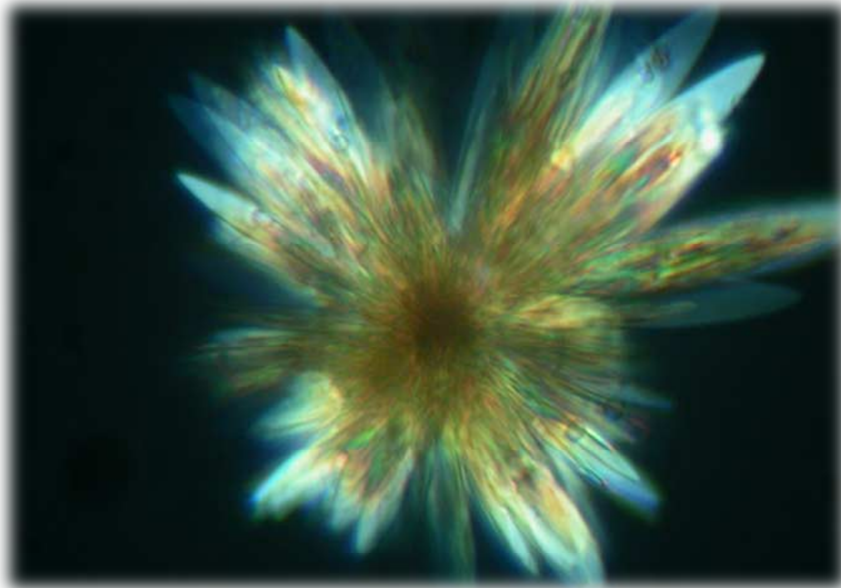


Figure 15: Acide salazinique dans le milieu KK (LAGABRIELLE, 2014).



Figure 16: Acide salazinique chez *Ramalina fastigiata* dans le milieu KK (Originelle, 2017).

IV.1.2. Résultats du dosage des métaux lourds

Tableau 07 : Résultats des teneurs en métaux (Pb, Cd) par *Ramalina fastigiata* en fonction des concentrations des solutions métalliques.

	10^{-3}	2.10^{-3}	10.10^{-3}	20.10^{-3}	Témoins
<i>Pb</i>	21.47	42.95	112.55	238.20	2.78
<i>Cd</i>	18.37	38.80	100.97	220.70	2.88

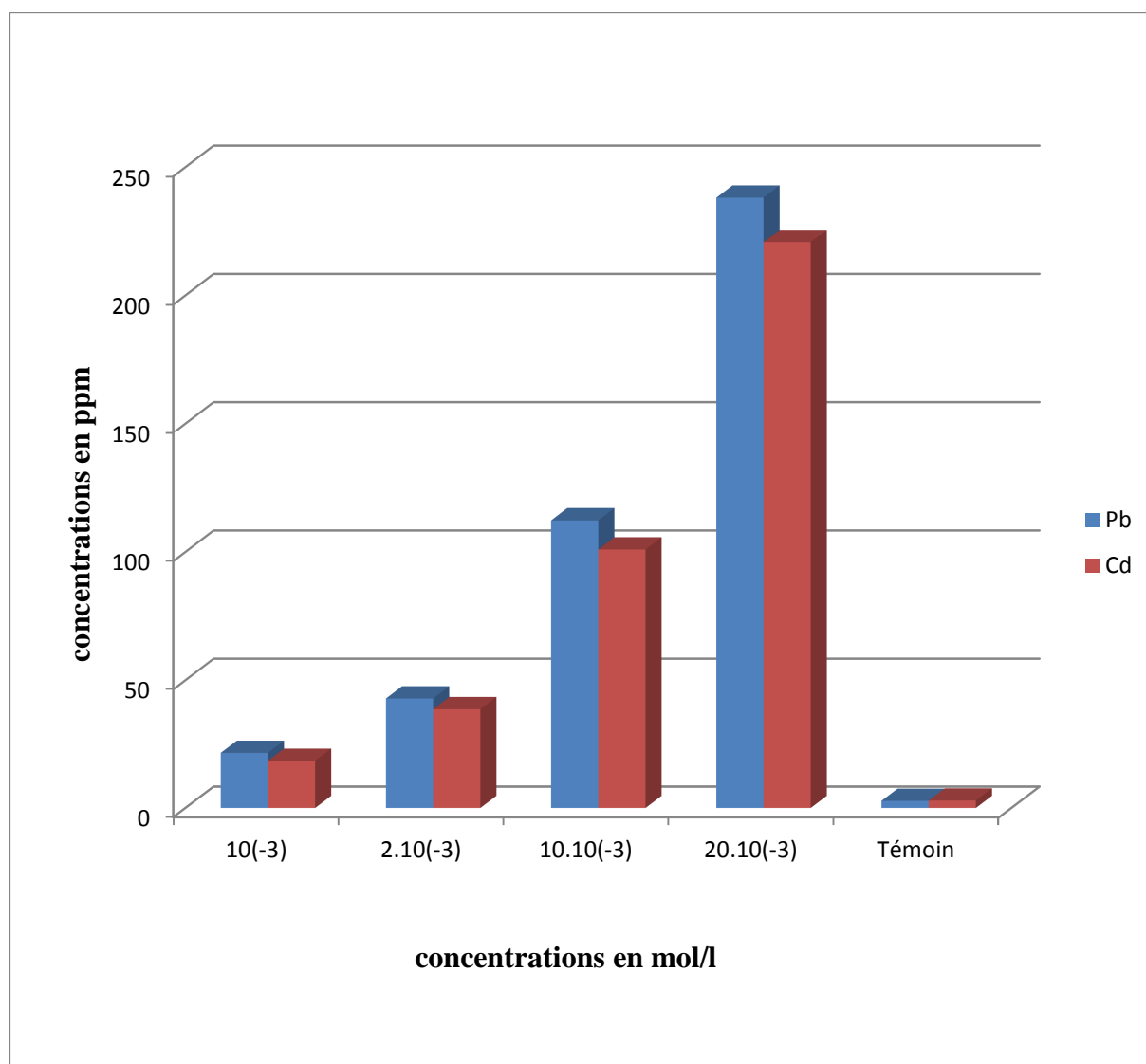
**Figure 17** : Evaluation de la rétention des métaux par *Ramalina fastigiata* en fonction des concentrations de solutions métalliques

Tableau 08 : Résultats des teneurs en métaux (Pb, Cd) par *Xanthoria parietina* en fonction des concentrations des solutions métalliques.

	10^{-3}	2.10^{-3}	10.10^{-3}	20.10^{-3}	Témoins
Pb	3.24	9.31	173.18	351.15	1.95
Cd	2.92	7.69	165.20	320.67	1.98

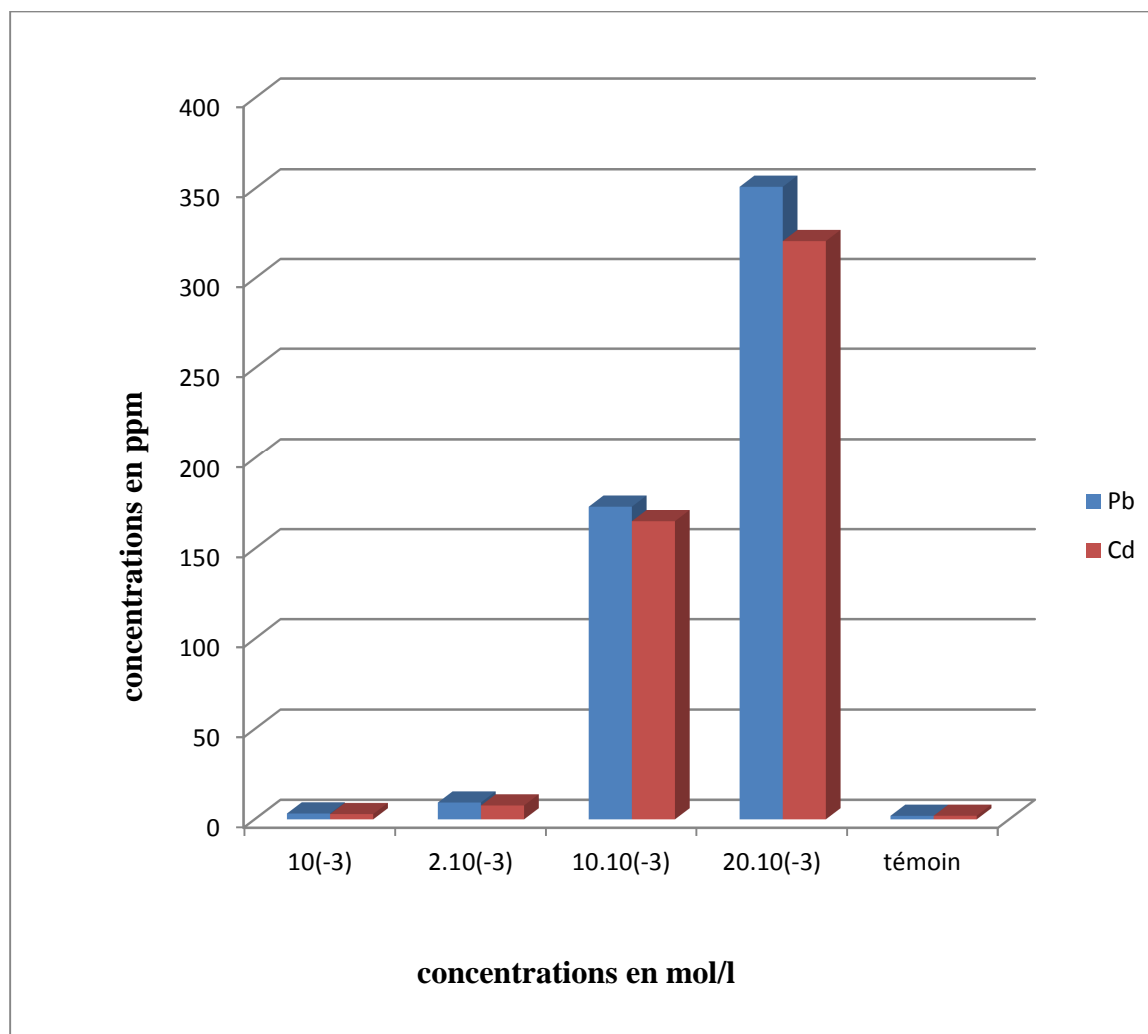


Figure 18 : Evaluation de la rétention des métaux par *Xanthoria parietina* en fonction des solutions métalliques.

Les résultats du dosage du Pb et du Cd montrent une variation de rétention des métaux (Pb, Cd) par les deux espèces lichéniques *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina* en fonction des concentrations.

Nous avons constaté qu'à des concentrations faibles (10^{-3} mol/l et 2.10^{-3} mol/l) la rétention des métaux est faible, tandis qu'une rétention importante est marquée à des concentrations plus élevées (10.10^{-3} mol/l et 20.10^{-3} mol/l).

Nous remarquons aussi que le taux d'absorption des deux métaux lourds chez *Ramalina fastigiata* est un peu plus élevé que le taux d'absorption des deux métaux chez *Xanthoria parietina* à de faibles concentrations contrairement aux concentrations plus élevées où le taux d'absorption est plus élevé chez *Xanthoria parietina*.

Quant au témoin le taux d'absorption des métaux est très faible chez les deux espèces lichéniques *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina*.

IV.1.3. Analyse statistique des résultats

L'analyse statistique a été faite avec le logiciel STATISTICA :

- Le 1^{er} test a été fait pour savoir si la dose influe sur le taux d'absorption des métaux lourds :

La variable a été soumise à un test de normalité KOLMRNOV-SMIRNOV.

Les résultats montrent que la variable ne suit pas une loi normale.

Variable : taux d'absorption, Distribution : Normale (Feuille de données1) Kolmogorov-Smirnov, d= 0.26588, p < 0.10, Lilliefors p < 0.01 Chi-deux : —, dl = 0, p = —									
Borne Sup.	Observé (effectifs)	Cumul Observé	%age Observé	% Cumulé Observé	Théorique (effectifs)	Cumul Théorique	%age Théorique	% Cumulé Théorique	Observé-Théorique
<= 0.00000	0	0	0.00000	0.0000	4.208199	4.20820	21.04099	21.0410	-4.20820
50.00000	12	12	60.00000	60.0000	2.929664	7.13786	14.64832	35.6893	9.07034
100.00000	0	12	0.00000	60.0000	3.431726	10.56959	17.15863	52.8479	-3.43173
150.00000	2	14	10.00000	70.0000	3.327598	13.89719	16.63799	69.4859	-1.32760
200.00000	2	16	10.00000	80.0000	2.670988	16.56817	13.35494	82.8409	-0.67099
250.00000	2	18	10.00000	90.0000	1.774722	18.34290	8.87361	91.7145	0.22528
300.00000	0	18	0.00000	90.0000	0.976102	19.31900	4.88051	96.5950	-0.97610
350.00000	1	19	5.00000	95.0000	0.444378	19.76338	2.22189	98.8169	0.55562
< Infini	1	20	5.00000	100.0000	0.236624	20.00000	1.18312	100.0000	0.76338

On utilise donc le test non paramétrique de KRUSKAL-WALLIS :

On pose deux hypothèses :

- H0= Taux d'absorption Di= Taux d'absorption Dj (la dose n'influe pas sur le taux d'absorption à $\alpha=0.05$).
- H1=Taux d'absorption Di \neq Taux d'absorption Dj (la dose influe sur le taux d'absorption $\alpha=0.05$).

Les résultats du test sont comme suit :

Dépendant : taux d'absorption	Test Médiane, Méd. Globale = 30.1350; taux d'absorption (Feuille de données1)							
	Var. indépendante (classement) : dose							
	Chi-Deux = 16.00000 dl = 4 p = .0030							
	d0	d1	d2	d3	d4	Total		
<= Médiane : observ.	4.00000	4.00000	2.00000	0.00000	0.00000	10.00000		
théorique	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000			
obs.-thé.	2.00000	2.00000	0.00000	-2.00000	-2.00000			
> Médiane : observée	0.00000	0.00000	2.00000	4.00000	4.00000	10.00000		
théorique	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000			
obs.-thé.	-2.00000	-2.00000	0.00000	2.00000	2.00000			
Total : observé	4.00000	4.00000	4.00000	4.00000	4.00000	20.00000		

$P = 0.003 < 0.05$, on rejette H_0 et on accepte H_1 donc la dose influe sur le taux d'absorption des métaux lourds par les deux espèces lichéniques *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina*

- Le 2^{ème} test a été fait pour savoir si les deux espèces lichéniques ont une affinité pour l'absorption des métaux lourds :

1- Pour le plomb :

La variable a été soumise au test de normalité KOLMORNOV-SMIRNOV.

Les résultats montrent que la variable suit une loi normale :

Variable : taux d'absorption, Distribution : Normale (Feuille de données6)									
Kolmogorov-Smirnov, d= 0.26742, p = n.s., Lilliefors p < 0.05									
Chi-deux : --- , dl = 0 , p = ---									
Borne Sup.	Observé (effectifs)	Cumul Observé	%age Observé	% Cumulé Observé	Théorique (effectifs)	Cumul Théorique	%age Théorique	% Cumulé Théorique	Observé-Théorique
<= 0.00000	0	0	0.00000	0.0000	2.161210	2.16121	21.61210	21.6121	-2.16121
50.00000	6	6	60.00000	60.0000	1.377307	3.53852	13.77307	35.3852	4.62269
100.00000	0	6	0.00000	60.0000	1.602984	5.14150	16.02984	51.4150	-1.60298
150.00000	1	7	10.00000	70.0000	1.580134	6.72164	15.80134	67.2164	-0.58013
200.00000	1	8	10.00000	80.0000	1.319244	8.04088	13.19244	80.4088	-0.31924
250.00000	1	9	10.00000	90.0000	0.932866	8.97375	9.32866	89.7375	0.06713
300.00000	0	9	0.00000	90.0000	0.558690	9.53244	5.58690	95.3244	-0.55869
350.00000	0	9	0.00000	90.0000	0.283381	9.81582	2.83381	98.1582	-0.28338
< Infini	1	10	10.00000	100.0000	0.184183	10.00000	1.84183	100.0000	0.81582

On utilise donc le test paramétrique de STUDENT à deux échantillons indépendants :

On pose deux hypothèses :

- H0= Taux d'absorption du Pb par *Ramalina fastigiata* = Taux d'absorption du Pb par *Xanthoria parietina* (il y'a affinité entre les deux espèces à $\alpha=0.05$).
- H1= Taux d'absorption du Pb par *Ramalina fastigiata* \neq Taux d'absorption du Pb par *Xanthoria parietina* (il n'y a pas d'affinité entre les deux espèces à $\alpha=0.05$).

Les résultats du test sont comme suit :

Tests t ; Classmt : espèce (Feuille de données6)											
Groupe1: rapb											
Groupe2: xapb											
Variable	Moyenne rapb	Moyenne xapb	Valeur t	dl	p	N Actifs rapb	N Actifs xapb	Ecart-Type rapb	Ecart-Type xapb	Ratio F Variances	p Variances
taux d'absorption	83.59000	107.7660	-0.297457	8	0.773696	5	5	95.89538	154.3786	2.591666	0.378782

$P= 0.77 >0.05$, on accepte H_0 donc les deux espèces lichéniques *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina* ont une affinité pour l'absorption du plomb à $\alpha= 0.05$.

2-Pour le Cadmium :

La variable a été soumise au test de normalité KOLMORNOV-SMIRNOV.

Les résultats montrent que la variable suit une loi normale :

Variable : taux d'absorption, Distribution : Normale (Feuille de données6) Kolmogorov-Smirnov, d= 0.26942, p = n.s., Lilliefors p < 0.05 Chi-deux : — , dl = 0 , p = —									
Borne Sup.	Observé (effectifs)	Cumul Observé	%age Observé	% Cumulé Observé	Théorique (effectifs)	Cumul Théorique	%age Théorique	% Cumulé Théorique	Observé-Théorique
<= -20.00000	0	0	0.00000	0.0000	1.680289	1.68029	16.80289	16.8029	-1.68029
0.00000	0	0	0.00000	0.0000	0.485298	2.16559	4.85298	21.6559	-0.48530
20.00000	5	5	50.00000	50.0000	0.557807	2.72339	5.57807	27.2339	4.44219
40.00000	1	6	10.00000	60.0000	0.621181	3.34458	6.21181	33.4458	0.37882
60.00000	0	6	0.00000	60.0000	0.670210	4.01479	6.70210	40.1479	-0.67021
80.00000	0	6	0.00000	60.0000	0.700586	4.71537	7.00586	47.1537	-0.70059
100.00000	0	6	0.00000	60.0000	0.709529	5.42490	7.09529	54.2490	-0.70953
120.00000	1	7	10.00000	70.0000	0.696206	6.12111	6.96206	61.2111	0.30379
140.00000	0	7	0.00000	70.0000	0.661856	6.78296	6.61856	67.8296	-0.66186
160.00000	0	7	0.00000	70.0000	0.609604	7.39257	6.09604	73.9257	-0.60960
180.00000	1	8	10.00000	80.0000	0.543989	7.93655	5.43989	79.3655	0.45601
200.00000	0	8	0.00000	80.0000	0.470317	8.40687	4.70317	84.0687	-0.47032
220.00000	0	8	0.00000	80.0000	0.393958	8.80083	3.93958	88.0083	-0.39396
240.00000	1	9	10.00000	90.0000	0.319718	9.12055	3.19718	91.2055	0.68028
260.00000	0	9	0.00000	90.0000	0.251387	9.37193	2.51387	93.7193	-0.25139
280.00000	0	9	0.00000	90.0000	0.191503	9.56344	1.91503	95.6344	-0.19150
300.00000	0	9	0.00000	90.0000	0.141341	9.70478	1.41341	97.0478	-0.14134
320.00000	0	9	0.00000	90.0000	0.101069	9.80585	1.01069	98.0585	-0.10107
340.00000	1	10	10.00000	100.0000	0.070021	9.87587	0.70021	98.7587	0.92998
< Infini	0	10	0.00000	100.0000	0.124132	10.00000	1.24132	100.0000	-0.12413

On utilise donc le test paramétrique de STUDENT à deux échantillons indépendants :

On pose deux hypothèses :

- $H_0= \text{Taux d'absorption du Cd par } Ramalina fastigiata = \text{Taux d'absorption du Cd par } Xanthoria parietina$ (il y'a affinité entre les deux espèces à $\alpha=0.05$).
- $H_1= \text{Taux d'absorption du Cd par } Ramalina fastigiata \neq \text{Taux d'absorption du Cd par } Xanthoria parietina$ (il n'y a pas d'affinité entre les deux espèces à $\alpha=0.05$).

Les résultats du test sont comme suit :

Tests t ; Classmt : espèce (Feuille de données6)											
Groupe1: racd											
Groupe2: xacd											
Variable	Moyenne racd	Moyenne xacd	Valeur t	dl	p	N Actifs racd	N Actifs xacd	Ecart-Type racd	Ecart-Type xacd	Ratio F Variances	p Variances
taux d'absorption	76.34400	99.69200	-0.311845	8	0.763131	5	5	88.89965	141.8621	2.546435	0.387376

$P = 0.76 > 0.05$, on accepte H_0 donc les deux espèces lichéniques *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina* ont une affinité pour l'absorption du Cadmium à $\alpha = 0.05$.

Le calcul du rapport d'accumulation par la relation suivante :

$$\text{rapport d'accumulation} = \frac{\text{teneurs du métal en fonction des concentrations}}{\text{teneurs témoins du métal}}$$

Pour *Ramalina fastigiata* :

	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
Ra Pb	7.72	15.44	40.48	85.68
Ra Cd	6.37	13.47	35.05	76.63

Pour *Xanthoria parietina* :

	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
Ra Pb	1.66	4.77	88.81	180.07
Ra Cd	1.47	3.88	83.43	161.95

Les résultats montrent que tous les métaux sont retenus par les espèces lichéniques étudiées, reste que le taux de fixation diffère d'une espèce à une autre ; nous remarquons ainsi une sélectivité de rétention dans l'ordre suivant :

Pb > Cd pour *Ramalina fastigiata*

Pb > Cd pour *Xanthoria parietina*

Et l'affinité des espèces à la rétention des métaux en solution est comme suit :

Xanthoria parietina > *Ramalina fastigiata*

IV.2. Discussion

IV.2.2. Discussion sur le dosage des métaux lourds (Pb, Cd)

D'après les résultats obtenus, nous constatons que *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina* ont la faculté d'accumuler les métaux lourds ceci correspond aux résultats de OULD AREZKI où elle note dans son travail le pouvoir accumulateur de *Usnea hirta* et *Evernia prunastri* vis-à-vis de trois métaux lourds (Pb, Cu, Zn). Cette faculté peut résulter de la structure en réseau de ces lichens qui leur permet un piégeage des particules les plus grossières dans l'espace intercellulaire (*Xanthoria parietina* a 20% d'espace libre) ; des récepteurs anioniques dans les parois cellulaires leur permettant de fixer les métaux lorsqu'ils sont présents sous forme de cations ou de l'existence d'une incorporation intracellulaire régulée par des processus physiologiques complexes (DAILLANT, 2003).

En comparaison avec les résultats de notre étude nous constatons que la sensibilité des lichens est plus importante pour les échantillons traités au laboratoire que lorsqu'ils sont exposés à la pollution naturelle (témoins), cette différence de sensibilité est due aux facteurs écologiques tel que les eaux de pluie qui interviennent par lessivage des thalles lichéniques, ainsi que l'action des vents dominants qui ont un effet non négligeable sur l'accumulation des métaux lourds (BURKI et al., 1972).

Nous constatons également que les deux espèces ont une grande affinité pour le plomb et le cadmium. Cette affinité est plus importante chez *Xanthoria parietina* que chez *Ramalina fastigiata* cela peut être dû à la différence des propriétés des parois cellulaire pour les deux espèces. (Chettri et al., 1988).

A decorative border resembling a scroll, with a vertical line on the left and a horizontal line at the top and bottom. The corners are rounded and feature small scroll-like motifs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

AOUN M (2003) -Contribution à l'étude de l'impact de la pollution plombique d'origine automobile sur la chlorophylle (a) et (b) de transplants lichéniques (*Parmelia acetabulum*) dans l'agglomération de Tizi-Ouzou, université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou. 76p.

ASTA J (1994) -bref historique de la lichénologie dans les Alpes françaises Nord-occidentales. Ecologie, t.29 (1-2), pp261-265.

BAZZAZ F.A., CARLSON, RW& ROLFE, G.L (1975) -The effect of heavy metals on plants : part I. inhibition of gas exchange in sunflower by Pb, Cd, Ni and Tl. Environt.pollut., 7; pp241-246.

BELANDRIA G et ASTA J (1986) -Les lichens bio indicateurs. La pollution acide dans la région Lyonnaise FOPP. Atm., 109, pp10-23.

BENALI L et TAZEKRIT N (2016) -Extraction des polyphénols à partir de quelques espèces lichéniques, université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou, 40p.

BOUZIANE M (2006) - Etude physico-chimique de l'accumulation de métaux lourds par les lichens- *Impacts sur les voies de biosynthèse et interprétation du mécanisme de tolérance chez Diploschistes muscorum*, thèse de doctorat, université des sciences et technologies de Lille, 168p.

CHATARD J (1998) -Flore lichénique corticole et pollution urbaine. Etude des relevés effectués à Paris en 1997 et leur évolution depuis 1991. Laboratoire d'écologie de l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI) de CNRS.

DAILLANT O (2003) -Lichens et accumulation des métaux lourds, le point après 10 ans de suivi en Bourgogne...et ailleurs. Première publication in : Bulletin de l'AFL (Association Française de lichénologie).

DELHOUM O et ABBAD A (2014) -Effet des deux métaux lourds plomb et cuivre sur les paramètres physiologiques des deux espèces lichéniques (*Parmelia acetabulum* et *Evernia prunastri*), université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou, 44p.

DERUELLE S (1981) -Effet de la pollution automobile sur les lichens en forêt de Fontainebleau. Ministère de l'environnement et du cadre de vie Convention de recherche N° 79-75, pp 91-106.

Références bibliographiques

DERUELLE S et LALLEMANT R (1983) -Les lichens témoins de la pollution. Thèmes Vuibert, université biologie, 103p.

DERUELLE S et LETROUIT M.A (1980) -Effet de la pollution sur les lichens. Bull. Soc. Ecophysiol. 5, 1, pp61-64.

HAWKSWORTH L., ROSE F (1970) -Qualitative scale for estimation sulphur dioxide air pollution and Wales using epiphytic lichens, nature, 227, pp145-148.

HEDJAM H et BOULAUCHE M (2004) -Utilisation des espèces lichéniques *Parmelia acetabulum*, *Parmelia pastillifera* et *Evernia prunastri* dans la détection de la pollution plombique d'origine automobile dans un milieu suburbain, université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou, 86p.

JAHNS H.M (1996) -Guide des fougères, mousses et lichens d'Europe, pp21-26.

KHALIL K et ASTA J (1998) -Les lichens bioindicateurs de la pollution atmosphérique dans la région lyonnaise. Ecologie, t.29 (3), p467-472.

KIRSCHBAUM et WIRTH (1997) -Les lichens bio-indicateurs : les reconnaître évaluer la qualité de l'air. 2^{ème} édition Eugen Ulmer, pp116-122.

LAGABRIELLE J (2014) -La microcristallisation des substances lichéniques un outil performant pour le lichénologue. Bull. ass. Fr. Lichénologie, vol.39, pp177-183.

LETROUIT (1993) -Que sont les lichens ? Pourquoi sont-ils bons indicateurs de la qualité de l'air. Bull. Inf. Ass.F. lichénologie, mémoires, 2, pp7-12.

OULD AREZKI N (2004) -Contribution à l'étude de l'impact de trois métaux lourds (Pb, Cu, Zn) sur les chlorophylles (a) et (b) de deux espèces lichéniques (*Evernia prunastri* et *Usnea hirta*), université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou, 58p.

OULMAN F et OUBELKACEM O (2003) -Etude bibliographique des lichens comme bio-indicateurs de la pollution atmosphérique, université MOULOUD MAMMARI, Tizi-Ouzou, 63p.

OZENDA (2000) -Les végétaux : organisation et diversité biologique 2^{ème} édition. Dunod Paris.

Références bibliographiques

OZENDA et CLAUSADE (1970) -Les lichens étude biologique et flore illustrée. Ed. Masson, Paris, 801p.

RAMADE F (1992) -Précis d'écotoxicologie. Masson, 300p.

SAHMOUNE F (2001) -Détection de la pollution plombique d'origine automobile à l'aide de transplantation lichénique dans l'agglomération de Tizi-Ouzou, thèse de magistère, université MOULOUD MAMMERI, Tizi-Ouzou, 83p.

SEMADI A (1989) -Effets de la pollution atmosphérique (pollution globale, fluorée et plombique) sur la végétation dans la région d'Annaba (Algérie), thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 339p.

SIGNORET (2002) -Etude méthodologique de la qualité de l'air en Lorraine Nord par les lichens.

TIEVAN P (2001) -Guide des lichens. Ed Delachaux et Niesté, 304p.

TROTET C (1968) -Précis de lichénologie. Ed. Bouffée. Paris, 177p.

VAN HALLUWYN et LEROND (1993) -Guide des lichens. Edition Lechevalier, Paris, 344p.

CONCLUSION

La réalisation de ce travail au laboratoire nous a permis d'évaluer les propriétés de rétention des métaux lourds par les lichens.

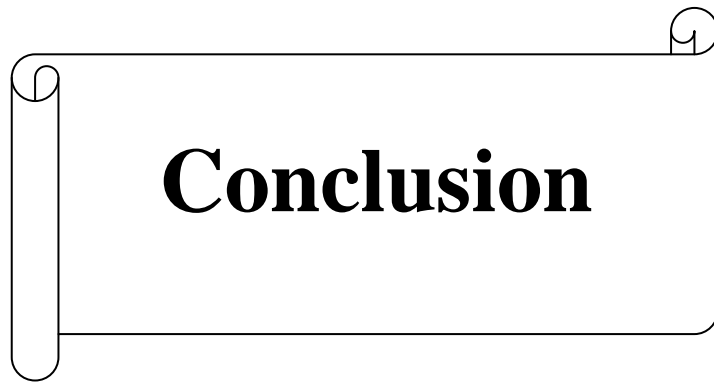
Les deux espèces lichéniques étudiées *Ramalina fastigiata* et *Xanthoria parietina* ont une grande capacité à accumuler des quantités importantes des métaux lourds présents dans les solutions, cette aptitude de rétention est liée essentiellement à la nature des thalles lichéniques et aux conditions du milieu.

Nous constatons ainsi que le degré de sensibilité à la pollution diffère d'une espèce à une autre, et que *Xanthoria parietina* et *Ramalina fastigiata* font d'excellents indicateurs de la pollution atmosphérique.

De ce fait, nous pouvons souligner tout l'intérêt que présentent les lichens comme bio-indicateurs de la pollution. Ils la révèlent (bio-indicateurs), en permettant sa quantification ou son estimation par une valeur absolue ou relative (bio-estimateurs) ou en accumulant les polluants atmosphériques (bio-accumulateurs).

Ainsi les lichens se comportent en véritable observatoire permanent de la qualité de l'air, par rapport aux réseaux de capteurs, ils présentent des avantages non négligeables : une plus grande sensibilité, une meilleure fiabilité et un prix de revient nettement plus faible.

Enfin, vu les potentialités que représentent les lichens dans le domaine de bio-accumulation nous souhaiterions que des études plus approfondies soient lancées sur les mécanismes d'action au niveau cellulaire, pour mieux comprendre le phénomène d'accumulation des métaux lourds et même le phénomène d'excrétion périodique de métaux lourds qui n'est pas suffisamment approfondi pour son rôle dans la survie des lichens malgré leur fortes teneurs en métaux lourds.



Conclusion

Résumé

Algues et champignons ont formé par association symbiotique les lichens qui, de par leur amplitude écologique, ont colonisé tous les milieux. Ces lichens sont utilisés comme bio-indicateurs de la pollution atmosphérique notamment par les métaux lourds.

La présente étude est axée sur l'évaluation du pouvoir accumulateur de deux espèces lichéniques *Xanthoria parietina* et *Ramalina fastigiata* vis-à-vis de deux métaux lourds Pb et Cd qui a été déterminée par la méthode microcristallisation et de dosage par absorption atomique.

Les résultats y afférant ont montré que ces deux espèces sont riches en substances lichéniques notamment l'acide usnique et l'acide salazinique et ont un grand pouvoir d'accumuler les métaux lourds par adsorption et constituent ainsi de bons indicateurs de la qualité de l'air.

Mots clés : algues, champignons, lichens, bio-indicateur, substances lichéniques, métaux lourds, pollution atmosphérique.

Abstract

Algae and fungi have formed lichens by symbiotic association, which, due to their ecological amplitude, have colonised all backgrounds. These lichens are used as bio-indicators of atmospheric pollution, notably by heavy metals.

The present study focuses on the evaluation of the accumulating power of two lichen species *Xanthoria parietina* and *Ramalina fastigiata* against two heavy metals Pb and Cd which was determined by the microcrystallization and atomic absorption assay method.

The results have shown that these two species are rich in lichenic substances, in particular usnic acid and salazinic acid, and have a great ability to accumulate heavy metals by adsorption and are therefore good indicators of the quality of the lichen air.

Keywords: Algae, fungi, lichens, bio-indicator, lichenic substances, heavy metals, atmospheric pollution.