

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Université Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم : ميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie Fongique

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Bio-indication écologique à l'aide de l'espèce lichénisée
*Xanthoria parietina***

Présenté par : BOUAOUNE Oussama
KHALFAOUI Mohamed Abdelouadoud

Le 29/06/2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : Mme MIHOUBI Ilhem (Professeur - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 1 : Mme ALATOU Radia (Professeur - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 2 : Mme OULMI Lamia (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

**Année universitaire
2021 - 2022**

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements et notre grande gratitude à notre encadrante **Mme Ilhem Mihoubi**, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, pour sa disponibilité, sa confiance et sa patience et pour les précieuses informations qu'elle nous a prodigués avec intérêt et compréhension. Qu'elle trouve dans ce travail un hommage vivant à la hauteur de sa personnalité.

Nous tenons à gratifier aussi **Mme Radia Alatou**, Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, pour l'intérêt qu'elle a porté à notre recherche en acceptant d'être la première examinatrice de ce mémoire. Nous lui sommes très reconnaissants. Ses qualités scientifiques, pédagogiques et surtout humaines seront pour nous un exemple à l'avenir.

Nous adressons également nos vifs remerciements à **Mme Lamia Oulmi** pour avoir bien voulu examiner ce travail. Nous lui avons toujours admiré ses qualités professionnelles ainsi que sa compétence et sa disponibilité.

Nous remercions également l'équipe du département microbiologie et particulièrement **Mme Abdelaziz Wided et Mr Boulahrouf Khaled**, pour l'intérêt qu'ils apportent à notre spécialité.

Enfin, nous dressons nos sentiments de gratitude et de reconnaissance à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Ce travail est dédié :

*A nos **valeureux martyres** de la pandémie covid 19
Qui sont décédés par manque d'oxygène*

*A nos **martyres** de l'été qui n'a pas été « les victimes des incendies Aout 2021 »
Paix à leur âmes, que Dieu les accueille dans son vaste paradis*

*A l'homme qui me donne toujours le courage pour continuer ce combat
Mon cher papa
Quoi que je fasse ou je dise je ne saurai point te remercier comme il se doit*

*A la femme qui me passe la lumière pendant mes sombres périodes de détresse
Ma chère maman
La vie devient facile à côté de toi et surtout avec ton beau sourire*

*A mon ange protecteur qui me pousse toujours vers la créativité
Ma chère femme*

*A mes deux beaux-frères **Badie et chihab***

*A mes **amis** et mes collègues de la promo **MBF 2022***

Je vous aime

Abdelouadoud

Dédicaces

Aux êtres les plus chers

A ma mère,

Ma source de bonheur qui n'a jamais cessé de me soutenir dans les moments les plus difficiles de ma vie et de m'encourager par ses prières

A mon père,

Mon plus haut exemple qui m'a toujours soutenu et poussé à donner le meilleur de moi-même et n'a jamais baissé les bras

Mes parents, je suis arrivée là aujourd'hui grâce à vous. Que Dieu vous accorde une longue vie.

*A mon frère : **Mohamed Ali** et mes sœurs : **Aicha ,Chams , Oumnia** , Vous êtes le plus beaux cadeaux de ma vie, c'est grâce à vous que j'ai pu franchir ce trajet et accomplir ce travail. Merci pour votre amour, vos conseils et votre soutien.*

*Aux petits enfants de la famille **Yhia , Braa** qui sait toujours comment procure la joie et le bonheur pour toute la famille*

*A mes amis **Mino, Amar , Fateh , Brahime ,Oussama , Noro , Moh ,Islem** ,, et tout le groupe veuillez trouver ici l'expression de mes profonds sentiments de respect et reconnaissance pour le soutien que vous n'avez jamais cessé de m'apporter. Puisse Dieu conserve notre amitié*

*A toute personne qui a un sentiment d'amour et de respect envers moi et mes collègues de Mycologie et biotechnologie fongique : **Abd El Ouadoud , Hamza, Yasser , Mohamed***

Oussama

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures.....	ii
Liste des abréviations.....	iii
INTRODUCTION	01

Chapitre I : La pollution atmosphérique

I.1. Définition de la pollution de l'air.....	03
I.2. Les polluants de l'air.....	03
I.2.1. Les polluants naturels.....	03
I.2.2. Les polluants anthropiques.....	04
I.2.2.1. Les polluants primaires.....	04
I.2.2.2. Les polluants secondaires.....	04
I.3. Les conséquences majeures de la pollution de l'air.....	05
I.3.1. Effets sur la santé humaine.....	05
I.3.2. Effets sur les végétaux.....	06
I.3.3. Effets sur les bâtis.....	07
I.3.4. Effets sur les écosystèmes.....	07
I.4. Problèmes climatiques provoqués par la pollution de l'air.....	07
I.4.1. Episodes de pollution.....	08
I.4.2. Effet de serre.....	08

Chapitre II : Les lichens

II.1. Définition des lichens	09
II.2. Morphologie des lichens	09
II.2.1. Types de thalles.....	09
II.2.2. Construction du thalle.....	10

II.3. Symbiose lichénique	11
II.3. 1. Mycosymbiose.....	12
II.3.2. Photosymbiose.....	12
II.4. Reproduction des lichens.....	13
II.4.1. Reproduction végétative.....	13
II.4.2. Reproduction sexuée.....	14
II.5. Ecologie des lichens.....	14
II.5.1. Exigences écologiques.....	15
II.5.2. Intérêt écologique.....	15

Chapitre III: *Xanthoria parietina*

III. 1. Définition	17
III.2. Taxonomie de <i>Xanthoria parietina</i>	18
III.3. Répartition géographique de <i>Xanthoria parietina</i>	19
III.4. Biochimie et métabolites secondaires.....	19
III.4.1. Origine fongique des métabolites secondaires.....	19
III.4.2. Exemple de métabolisme secondaire des lichens.....	19
III.4.3. Métabolites secondaires de <i>Xanthoria parietina</i>	22

Chapitre IV: Quelques protocoles expérimentaux de bio-indication de la pollution atmosphérique

IV.1. Bio-indication de la pollution atmosphérique.....	23
IV.1.1. Différents types de bio-indication de la qualité de l'air.....	23
IV.1.1.1. Bio-indication végétale.....	23
IV.1.1.2. Bio-indication animale.....	23
IV.1.1.3. Bio-indication microbienne.....	24
IV.1.2. Cartographies de la pollution atmosphérique	24
IV.1.2.1. Méthodes de mesure.....	24

IV.1.2.2. Indice de la qualité de l'air	25
IV.1.2.3. Fiche carte.....	25
IV.1.3. Bioaccumulation des polluants de l'air par l'espèce <i>Xanthoria parietina</i>	27
IV.1.3.1. Accumulation des hydrocarbures totaux.....	27
IV.1.3.1.1. Dosage indirecte des hydrocarbures totaux.....	27
IV.1.3.1.2. Estimation du poids des hydrocarbures totaux.....	28
IV.1.3.1.3. Valeurs limites des concentrations en hydrocarbures.....	28
IV.2. Dosage de la chlorophylle chez les transplants de <i>Xanthoria parietina</i>	27
IV.2.1. Technique de prélèvements des échantillons.....	27
IV.2.2. Dosage de la chlorophylle	29
IV.2.3. Teneur en chlorophylle a, b et ab	30
IV.3. Accumulation des éléments traces.....	30
IV.3.1. Technique de dosage de plomb et de zinc	30
IV.3.2. Valeurs limites des concentrations des éléments traces (plomb/ zinc	31
IV.3.2.1. Valeurs limites de concentrations en plomb	31
IV.3.2.2. Valeurs limites de concentrations en zinc	32
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	33
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35
RESUMES	

Liste des abréviations

PM₁₀ : Particules matter (particules fines dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres)

PM_{2.5} : Particules matter (particules fines dont le diamètre est inférieur à 2.5 micromètre)

COV : Composés organiques volatils

O₃ : Ozone

NO₂ : Dioxyde d'azote

SO₂ : Dioxyde de soufre

CO : Mono oxyde de carbone

Pb : Plomb

Cd : Cadmium

H₂SO₄ : Sulfate

PAN : Solution indicatrice (Réactif colorimétrique)

CO₂ : Dioxyde de carbone

Pops : Polluants organique persistant

ILQA: Indice locale de la qualité de l'air

IMQA : Indice moyen de la qualité de l'air

Hct : Hydrocarbures totaux

CaCO₃: Carbonate de calcium

CH₃COCH₃: Acetone

D.O: Densité optique

Chl.a : Chlorophylle a

Chl.b : Chlorophylle b

HCl : Chlorure d'hydrogène

ClHO₄ : Acide perchlorique

OMS : Organisation mondial de la santé

HF : Acide fluorhydrique

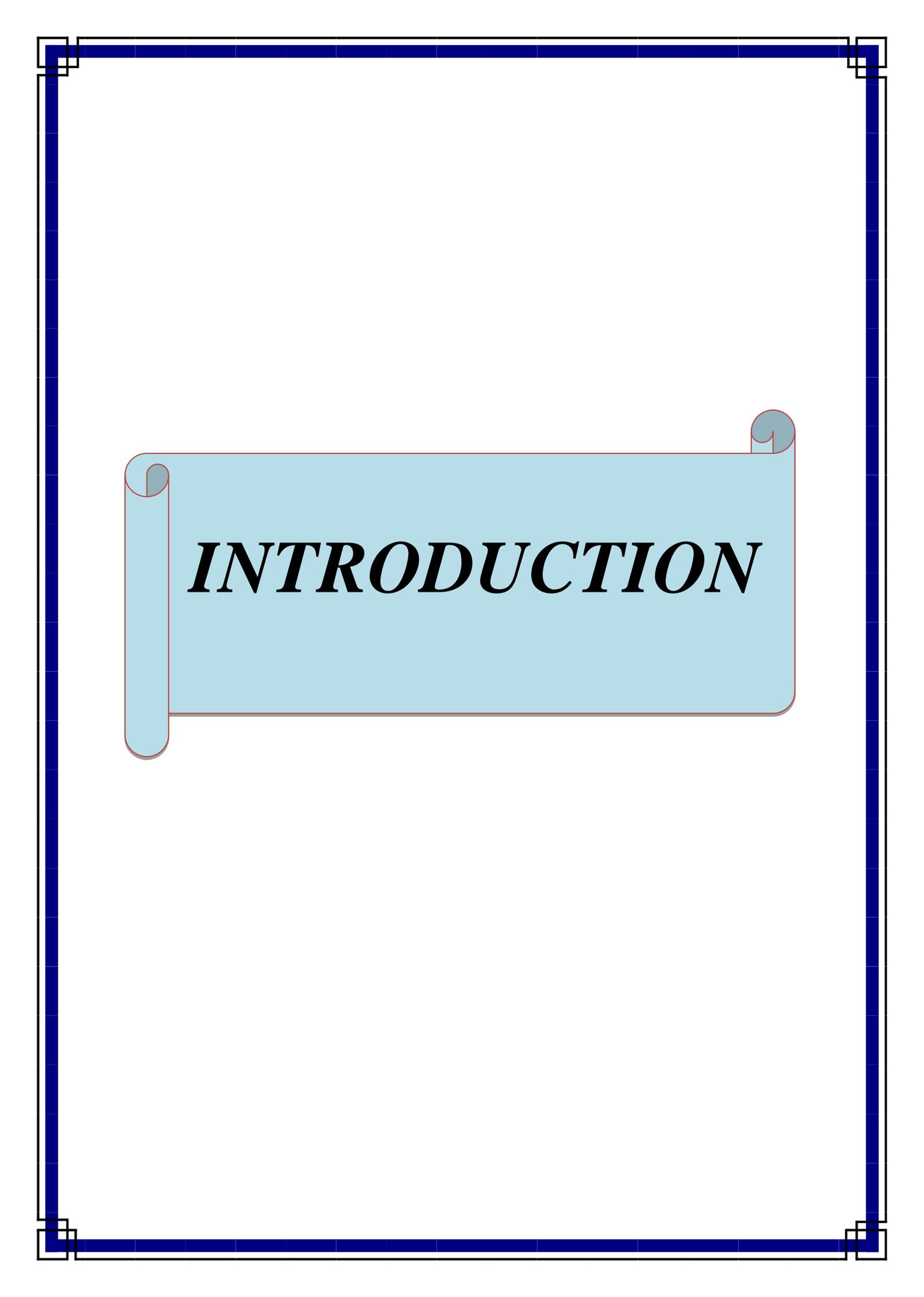
HNO₃ : Acide nitrique

Liste des figures

Figure 1 : Polluants anthropiques de l'air -----	04
Figure 2 : Classement des symptômes selon la sévérité des cas en fonction de la proportion de population touché -----	05
Figure 3 : Différentes types morphologiques des lichens-----	11
Figure 4 : Structure anatomique des lichens (homéomère et hétéromère) -----	12
Figure 5 : Schéma représentatif de symbiose lichénique-----	13
Figure 6 : Les soralies et les isidies-----	14
Figure 7 : Schéma représentatif de la reproduction asexuée par les Isidies et les Sorédies-----	14
Figure 8 : Reproduction sexuée chez les lichens (a : Périthèce, b : Apothécie) -----	15
Figure 9 : Changement de couleur de <i>X. parietina</i> en fonction de la luminosité-----	18
Figure 10 : Principaux métabolites secondaires des lichens-----	21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs limites des paramètres climatique-----	08
Tableau 2 : Classification de l'espèce <i>Xanthoria parietina</i> -----	19
Tableau 3 : Fiche espèces-----	25
Tableau 4 : Fiche station -----	26
Tableau 5 : Taux de pollution en fonction d'ILQA-----	26



INTRODUCTION

Depuis longtemps, l'humanité souffre de la pollution de toute sorte. L'augmentation de la pollution aérienne, a engendré des effets nuisibles pour l'environnement et la santé humaine en particulier. La majorité des polluants provenant généralement des sources anthropiques. Ceux-ci se divisent en deux principales classes : des polluants primaires et d'autres qui sont des polluants secondaires.

La surveillance classique de la pollution atmosphérique obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques élaborées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit l'Algérie, à l'instar des autres pays, à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants surveillés sont dosés : c'est ce qu'on appelle la bio-surveillance. Divers indicateurs interviennent dans la détermination de la pollution atmosphérique. Parmi ces indicateurs, des organismes biologiques dont les lichens. *Xanthoria parietina* est l'un des spécimens testés dans le but de connaître comment cette espèce peut indiquer et réagir avec les différents types des polluants de l'air. De ce fait, par ce modeste de travail de recherche, nous essayons de répondre aux questions suivantes:

- quelles sont les conséquences de la pollution de l'air?
- est ce que *Xanthoria parietina* est un bon indicateur de cette pollution?
- comment l'espèce *Xanthoria parietina* réagit dans les milieux pollués ?
- comment peut-on obtenir des informations sur la pollution de l'air à partir de cet espèce et quelle sont les méthodes utilisées ?

Pour répondre à ces questions, le présent travail est fondé sur une recherche bibliographique répartie en quatre axes respectivement. Le premier chapitre met l'accent sur les grandes lignes de la pollution atmosphérique et mettant en évidence les divers polluants de l'air, les conséquences majeures de la pollution de l'air, et enfin les différents problèmes climatique provoqués par la pollution de l'air. Le deuxième chapitre donne une vue générale sur les lichens, leurs différentes morphologies, la symbiose lichénique et ses divers types de reproduction dans la nature. Quant au troisième chapitre, il a trait à l'espèce *Xanthoria parietina* comme un indicateur de la pollution de l'air. Il définit la classification de *X. parietina*, sa répartition géographique ainsi que ses activités antiproliférative, antibactérienne et antifongique.

Concernant la dernière partie, elle met en exergue les principaux protocoles expérimentaux de la bio-indication de la pollution atmosphérique, la bioaccumulation des polluants de l'air par l'espèce *Xanthoria parietina* et les différentes techniques de dosage de certains paramètres indicateurs de pollution utilisées dans ce sens.

Enfin, ce travail est clôturé par une conclusion ainsi que des recommandations essentielles pour pallier ce problème planétaire et protéger notre environnement et préserver notre santé.



***Partie
bibliographique***

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

I-1- Définition de la pollution de l'air

Le terme pollution atmosphérique désigne l'ensemble des rejets des composés toxiques libérés par l'homme dans l'atmosphère, mais aussi les substances malodorantes qui, sans être vraiment dangereuses dans l'immédiat pour les organismes vivants, exercent tout de même une action perturbatrice sur l'environnement. La dégradation de la qualité de l'air peut résulter soit d'une modification quantitative, par hausse de la concentration dans l'air de certains de ses constituants nommés (gaz carbonique, peroxyde d'azote, ozone, par exemple), soit d'une modification qualitative due à l'introduction des composés étrangers à ce milieu (radioéléments, substances organiques de synthèse), ou encore (et c'est le cas général) d'une conjugaison de ces deux phénomènes (Koller, 2004).

Une autre définition de la pollution atmosphérique est donnée par la Loi n° 03-10 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable en Algérie. Elle l'a définie comme suit: « L'introduction de toute substance dans l'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie ».

I-2- Les polluants de l'air

Il existe plusieurs sources de pollution de l'air influençant d'une façon directe ou indirecte l'équilibre de la composition naturelle de celui-ci, certains de ces polluants sont naturelles d'autres sont anthropiques. Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes : les polluants primaires et les polluants secondaires. Les polluants primaires sont directement issus des sources de pollution, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique (Vandel, 2011 cité par Benhariz, 2018).

I-2-1- Les polluants naturels

Les pollens, les poussières de déserts et les gaz résultent des activités volcaniques peuvent être considérés comme polluants de l'air par l'intégration dans la composition de l'air qui implique d'autres formes de pollution de l'environnement. L'exemple le plus courant de ces polluants est celui des particules fines dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres

(PM₁₀) et les particules fines dont le diamètre est inférieur à 2.5 micromètre (PM_{2.5}) (Ouagueni et Sadeddine, 2017).

I-2-2- Les polluants anthropiques

Du mot grec « *anthropos* » qui signifie l'homme, l'expression pollution anthropique est utilisée pour mettre en évidence la relation entre l'homme et la source de pollution. Plusieurs sources des polluants de l'air dites « anthropiques » par rapport à la participation directe ou indirecte de l'homme, est à l'origine ou la source de pollution (Figure 1).

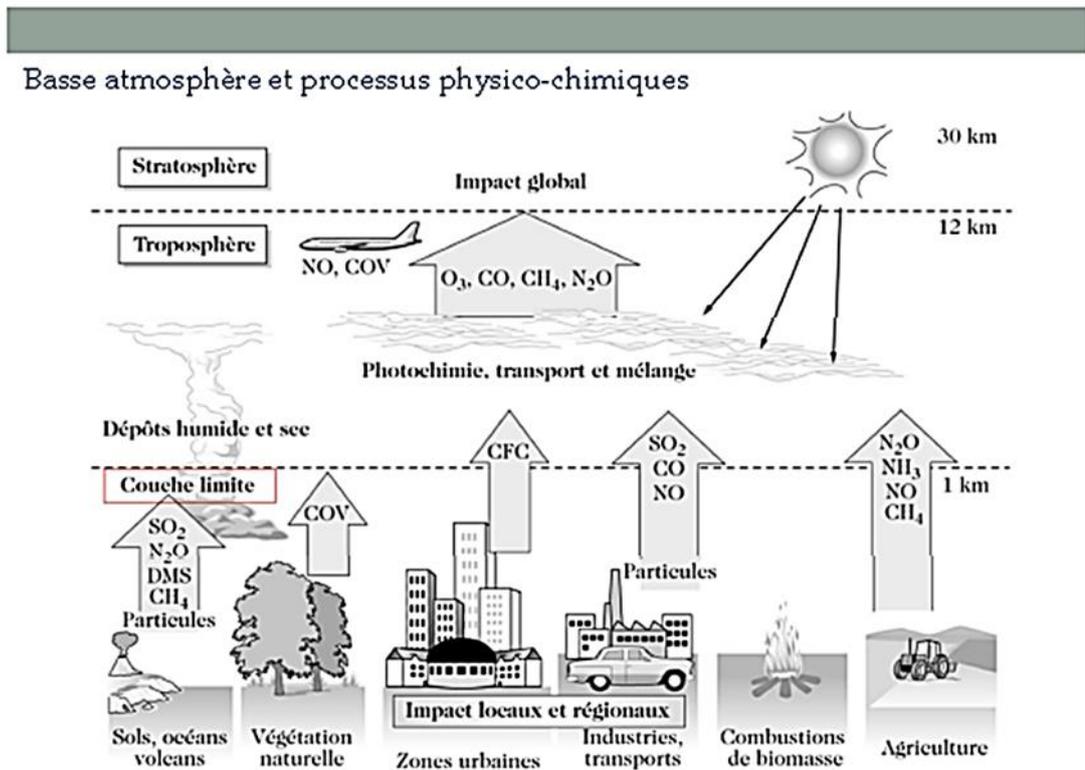


Figure 1 : Polluants anthropiques de l'air (Lacour, 2001).

I-2-2-1- Les polluants primaires

Les polluants primaires sont principalement émis dans l'atmosphère. Ils sont issus des sources de pollution comme le trafic routier, les industries, le chauffage, l'agriculture, etc.

Il s'agit par exemple :

- Des oxydes de carbone
- Des oxydes de soufre
- Des oxydes d'azote

- Des hydrocarbures légers
- Des composés organiques volatils (COV)
- Des particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) : selon leur taille, les particules en suspension sont divisées en plusieurs fractions. La fraction PM₁₀ est constituée de particules dont la taille est inférieure à 10 µm (10 millième de mm, soit 6 à 8 fois plus petit que l'épaisseur d'un cheveu). La PM_{2.5} se compose de particules de taille inférieure à 2,5 µm. Chaque fraction englobe la précédente ; ainsi la fraction PM_{2.5} est une partie de la fraction PM₁₀. Actuellement les deux fractions focalisent toutes les attentions car elles peuvent pénétrer dans les voies respiratoires et causer des dommages sur la santé (Mazoue et Setra, 1994).
- Des métaux (plomb, mercure, cadmium...)

I-2-2-2- Les polluants secondaires

Les polluants secondaires ne sont pas directement rejetés dans l'atmosphère, mais ils proviennent de réactions chimiques de gaz entre eux. C'est le cas notamment :

- des particules secondaires,
- de l'ozone (O₃),
- du dioxyde d'azote (NO₂)

Certains polluants, comme le dioxyde d'azote et les particules, sont à la fois des polluants primaires et secondaires (Lacour, 2001).

I-3- Les conséquences majeures de la pollution de l'air

I-3-1- Effets sur la santé humaine

Les principaux polluants primaires ou secondaires atmosphériques d'origine anthropique (chauffages, processus industriels, trafic motorisé) qui peuvent altérer la santé humaine sont les suivants : SO₂, particules en suspension, CO, hydrocarbures et aldéhydes, NO_x, O₃ et autres oxydants photochimiques, Pb et autres métaux toxiques (Cd, etc.). Bien qu'agissant le plus souvent simultanément, d'où la difficulté, lorsque des études épidémiologiques sont effectuées, d'établir les relations «dose-réponse» pour un polluant (Roda, 2012). Nous pouvons dire que le SO₂ et dérivés (sulfates ou aérosols de H₂SO₄), les particules en suspension, le NO₂ et dérivés (nitrates) et l'O₃ (plus autres oxydants

photochimiques) affectent principalement les voies respiratoire. Quant au formaldéhyde, l'éthylène et PAN, ce sont des irritants oculaires et des lacrymogènes. Concernant les deux derniers : CO et Pb, ils produisent des effets toxiques sur les systèmes cardiovasculaire et nerveux en particulier (Figure 2) (Pope et Dockery, 2006).

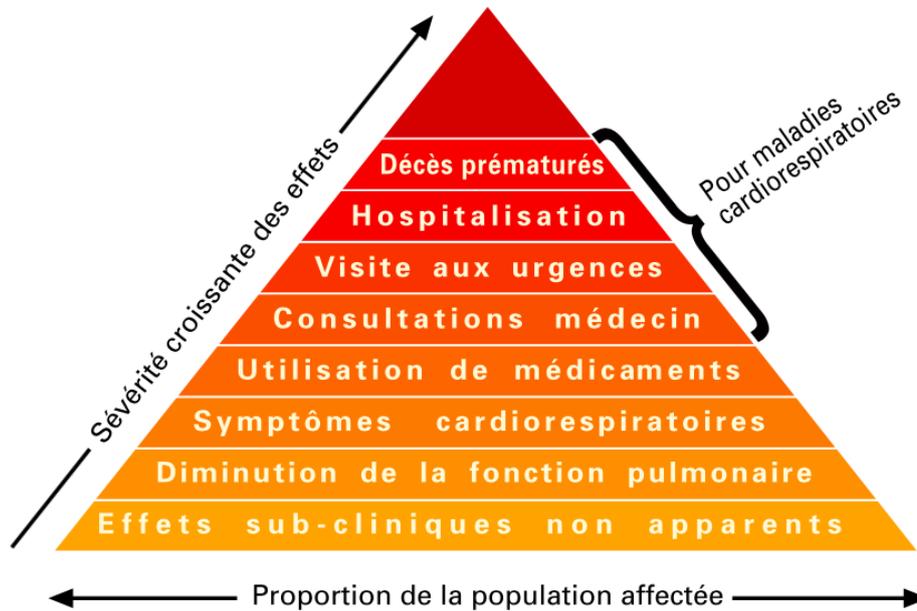


Figure 2 : Classement des symptômes selon la sévérité des cas en fonction de la proportion de population touché (<https://www.respire-asso.org/effets-sur-la-sante/> 2013).

I-3-2- Effets sur les végétaux

Les végétaux sont en première ligne face aux pollutions atmosphériques car ils vivent fixés et constituent la base du fonctionnement des écosystèmes terrestres et aquatiques. La nature et l'importance de l'impact des polluants atmosphériques sur les végétaux va dépendre des caractéristiques physiologiques et biochimiques du végétal touché, et des propriétés du ou des polluants rencontrés. Les perturbations physiologiques des plantes sont variées et sont observables, selon la nature du polluant, sur des zones plus ou moins étendues qui vont de l'échelle locale jusqu'à l'ensemble de la planète. Ces réponses vont immédiatement se répercuter sur le fonctionnement des écosystèmes et en particulier sur les relations plantes-insectes. Elles peuvent aussi avoir des effets sur la santé humaine, les végétaux étant à l'origine de nombreuses chaînes alimentaires (Garrec 2019).

I-3-3- Effets sur les Bâtis

La pollution de l'air détériore les façades des bâtiments. Plus fragiles, les monuments du patrimoine sont les plus touchés. Les particules engendrent principalement des dégradations esthétiques, par encrassement ou dépôts noirâtres. Des suies noires peuvent recouvrir tous les matériaux : la pierre, le ciment, le béton, la brique, la céramique ou encore le bois. L'acide nitrique (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂) et le dioxyde de carbone (CO₂) érodent principalement les matériaux, par sulfatation ou carbonation (Matthieu, 2015).

I-3-4- Effets sur les écosystèmes

Globalement, la pollution atmosphérique peut dérégler les cycles nutritifs des plantes et entraîner, pour les cultures agricoles notamment, une perte de rendement. L'ozone est un agent extrêmement phytotoxique et oxydant. Cette molécule pénètre dans les stomates et crée des nécroses sur les feuilles.

A partir de là, la plante va se dégrader puisque c'est par les feuilles que beaucoup de mécanismes ont lieu (ex : photosynthèse)

L'acidification de l'air, liée aux composés soufrés (acide sulfurique, notamment) et azotés (acide nitrique), entraîne une perte de fertilité et une modification de la productivité des écosystèmes. Elle va perturber l'équilibre chimique de la plante, et notamment les apports en magnésium et en calcium, qui sont très utiles à la végétation. Ces éléments vont devenir beaucoup plus solubles, être lessivés et ne resteront donc pas à la disposition du système terrestre. La modification de l'acidité des milieux favorise également l'absorption des métaux par les racines des arbres et végétaux alors que généralement ces éléments sont plutôt stables. D'autres polluants dits organiques persistants (POPs) ont des effets néfastes sur l'environnement car ils ont tendance à se concentrer dans la chaîne alimentaire (Laurence, 2014).

I-4- problèmes climatique provoqués par la pollution de l'air

Comme les effets de la pollution de l'air peuvent agir sur les êtres vivants et les matériaux, elle peut provoquer des problèmes considérables comme un risque sur la planète, les épisodes de pollutions, les émissions des gazes à effet de serre sont les petites rivières qui participent à la construction d'un grand fleuve conduit au réchauffement climatique.

I-4-1- Episodes de pollution

Un épisode de pollution correspond à une période où les concentrations de polluants dans l'air ne respectent pas ou risquent de ne pas respecter les niveaux réglementaires (*atmo-hdf.fr, 2017*).

Il est possible de déclencher un épisode de pollution si les paramètres climatique dépassent les valeurs limites pendant une période définie (Tableau 1).

Tableau 1 : valeurs limites des paramètres climatique (Ghazi, 2009).

Polluant / paramètre climatique	Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO ₂ : Dioxyde de soufre	190	0,002
NO ₂ : Dioxyde d'azote	316	0,07
CO : Monoxyde de carbone	12,80	0,01
O ₃ : Ozone	688	0,077
PM10 : particulate matter	423,3333	0,0045
Humidité	93	0,008
Température	42	0,90

I-4-2- Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel. La surface de la terre absorbe naturellement 70 % du rayonnement solaire tandis que le reste est renvoyé vers l'espace sous l'effet de la réverbération. Le rayonnement solaire absorbé est alors transformé en rayonnement infrarouge et restitué dans l'atmosphère. Une partie de ce rayonnement infrarouge est alors à son tour renvoyée vers l'espace tandis que l'autre partie est retenue par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère.

Les Gaz à Effet de Serre (GES) sont des gaz naturellement présents dans l'atmosphère. Ils absorbent une partie des rayons solaires et les redistribuent ensuite sous la forme de radiations. Leur concentration croissante dans l'atmosphère, due aux activités humaines, est à l'origine du réchauffement climatique. Comme leur nom l'indique, ces gaz sont la cause principale de l'effet de serre. Les activités humaines sont à l'origine de l'accroissement du phénomène que l'on nomme "effet de serre". Ses conséquences, dont le réchauffement climatique, sont très préoccupantes pour la planète. Par extension, on indique par "effet de serre" l'augmentation de l'effet de serre provoquant le réchauffement climatique. Les activités humaines ont déséquilibré le phénomène naturel du gaz à effet de serre. En rejetant plus de gaz à effet de serre, le climat se réchauffe car l'atmosphère ne peut absorber cet effet de serre additionnel.

Chapitre II : Les lichens

II-1- Définition des lichens

Le terme lichen est d'origine grecque du mot *leikhen* qui signifie lécher; à cause de leur thalle parfois appliqué sur le support, comme s'il le léchait (Boullard, 1990).

Jusqu'à la seconde moitié du XIXe siècle, les lichens étaient considérés comme éléments biologiques simples. Auparavant, les chercheurs confondaient les propriétés des lichens avec celles des Thallophytes, voire avec celles des bryophytes (Des Abbayes, 2014).

Les lichens sont une association entre les algues et les champignons. Ils sont considérés comme les créatures pionnières du bal de la colonie milliards d'années. Lorsque ce point de vue est accepté, Les scientifiques ont nommé l'union "symbiose", un mot dérivé du mot grec signifiant "vivre" et "ensemble". Un mariage dans lequel les deux parties dépendent l'une de l'autre pour survivre (Lacoux et Engler, 2012).

Depuis lors, les lichens sont classés dans le règne fongique et étudiés par une science nommée lichénologie.

II-2- Morphologie des lichens

La diversité lichénique s'élève à 20 000 espèces dans le monde, L'appareil végétatif d'un lichen est un thalle qui présente une morphologie originale par rapport à celle des algues et des champignons (Ourari, 2016).

II-2-1- Types des thalles

Les lichens présentent divers types de thalles (Figure 3):

a- Thalles Crustacés

Ils forment une croûte fortement adhérente au substrat, non séparable de celui-ci, sauf par petits fragments. Plus de 4/5 des lichens ont des thalles crustacés ; la plupart d'entre eux sont souvent appelés les microlichens.

b- Thalles Squamuleux

Ils forment des petites squamules ou écailles ou de lobes plus ou moins adhérents au substrat, mais pouvant facilement s'en détacher. C'est une forme de transition entre thalle crustacé et thalle foliacé (Ourari, 2016).

c-Thalles Foliacés

Ils forment des lames plus ou moins lobée ou de feuilles, facilement séparables du substrat auquel ils sont parfois fixés par des rhizines le cas de l'espèce *Xanthoria parietina* (Amirouche,2016).

d- Thalles Fruticuleux

Ils n'adhèrent au substrat que par une surface très réduite, ils sont plus ou moins buissonnant plus ou moins ramifiés, à section ronde ou aplatie.

e- Thalles Lépreux

Ce genre de thalle marque une association plus ou moins cohérente de granules (0,1-0,2 mm) constitués chacun d'un peloton d'hyphes associées à quelques cellules algales comme le cas *Lepraria*.

f- Thalles Composites

C'est un cas particulier, caractéristique de la famille des *Cladoniaceae*, ces lichens souvent terricoles. Ils sont formés de deux parties bien distinctes :

- Thalle primaire foliacé-squamuleux, plus ou moins adhérents au substrat ;
- Thalle secondaire fruticuleux formé d'éléments se développant plus ou moins perpendiculairement au substrat (Amirouche, 2016).

g- Thalles Gélatineux

Ils contiennent des cyanobactéries réparties dans toute l'épaisseur du thalle (pas de stratification dorsiventrals). A l'état sec ils sont noirs, coriaces et friables. En présence d'eau ils gonflent pour donner des masses gélatineuses (Amirouche, 2016).



Figure 3 : Différents types morphologiques des lichens :a,b,c,d,e,f,g (Masson,2014)

II-2-2- Construction du thalle

L'organisation de la plante se fait de manière stratifiée (on parlera de structure Hétéromère stratifiée par opposition aux structures Homéomères (Figure 4) où tous les éléments sont mélangés comme dans le cas des symbioses d'un champignon et de cyanobactéries).

- Thalles homéomère: Les conidies ou cellules de l'algue isolées formant des couronnes sont mélangées aux hyphes du champignon dans toute l'épaisseur du thalle.

-Thalles hétéromère : Quand le thalle est limité par plusieurs couches

Un cortex supérieur et un cortex inférieur. Les gonidies et les hyphes sont réparties en *couches superposées ou concentriques : - une couche gonidiale, - une couche médullaire (hyphes).* Le cortex inférieur peut présenter des filaments destinés à la fixation. Ce sont des rhizoïdes ou rhizines.

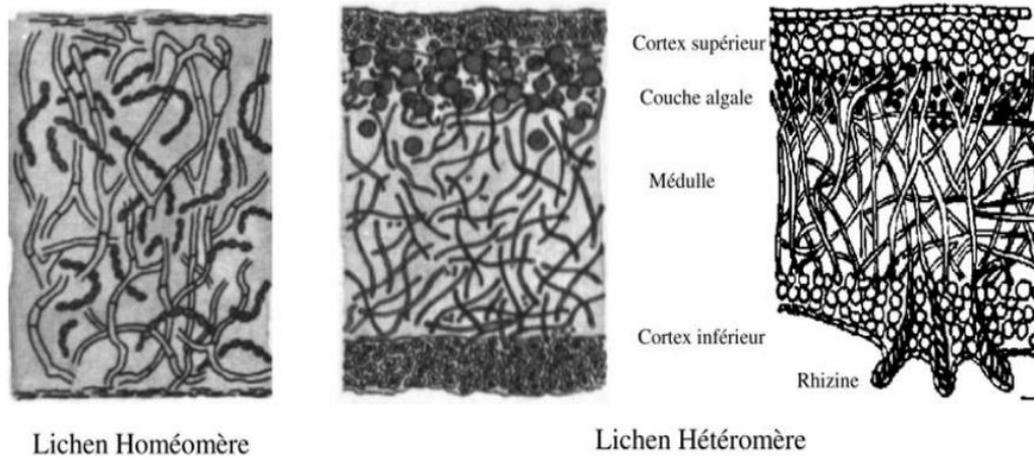


Figure 4: Structure anatomique des lichens : homéomère (Van Haluwyn et Lerond 1993) et hétéromère (Ozenda, 2000)

II-3- Symbiose lichénique

La symbiose lichénique est avantageuse au champignon de même façon à l'algue. Le champignon reçoit de l'algue des hydrates de carbones nécessaires à son existence. L'enveloppe que constitue le tissu fongique protège l'algue de pertes hydriques trop brutales, de rayonnements solaires trop intenses ou de la consommation par les animaux. La symbiose apparaît donc sous la forme d'un partenariat bénéfique dans les deux sens avec une interdépendance nutritionnelle et assurance de transfert de l'eau et de substances dissoutes et de certaines substances organiques vers le photosymbiote.

Outre une morphologie particulière, l'association lichénique offre aux deux partenaires des qualités que l'on ne trouve pas à l'état isolé (Figure 5) dont :

- La reviviscence, capacité de passer rapidement et de façon réversible de l'état sec à l'état hydraté.
- La capacité de s'installer en pionnier sur des substrats difficiles, comme les rochers,
- La résistance aux températures extrêmes puisque la photosynthèse est encore active à des températures très basses.
- La formation de substances spécifiques, comme les acides lichénique .

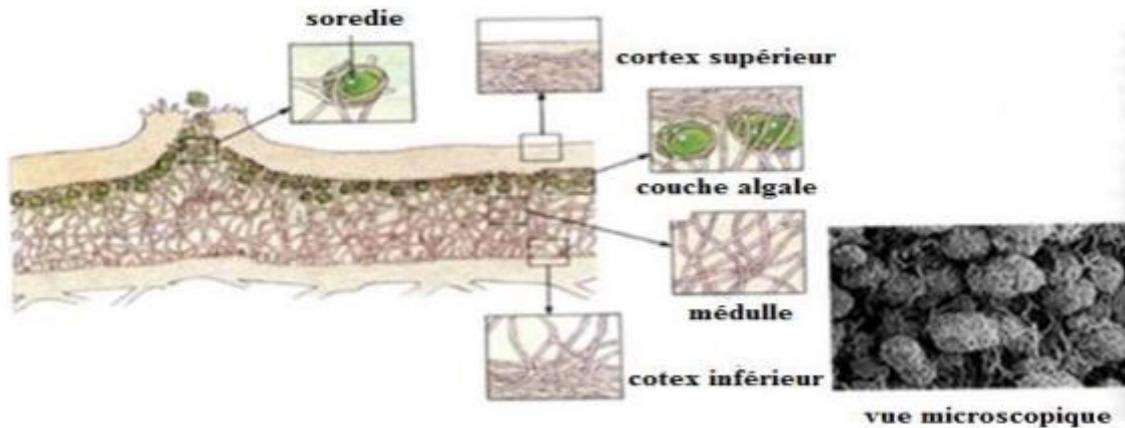


Figure 5 : Schéma représentatif de symbiose lichénique (Hauck *et al.*.,2011).

II- 3-1- Mycosymbiote

Dans la plupart des lichens (99 %), l'associé champignon fait partie des Ascomycètes dont les spores sont enfermées dans les asques. On appelle alors le lichen un Ascolichen : ce sont soit des Pyrénomycètes soit des Discomycètes, mais on trouve également des Basidiomycètes dont les spores sont portées par des petits « pieds » appelés basides, on appelle alors le lichen un basidiolichen. Les cellules du mycosymbiote ont la forme d'un filament, simple ou plus ou moins ramifié, incolore, que l'on appelle hyphe.

L'hyphe est formé de cellules allongées, à paroi assez mince et à cloisons transversales. Elles peuvent s'intriquer en tous sens ou rester parallèles entre elles (Tievant, 2001).

II- 3-2- Photosymbiote

la majorité des algues appartiennent à la classe des Chlorophycées ou algues vertes. Cette classe regroupe la famille des Chlorococcaceae, les plus fréquentes avec le genre *Trebouxia*, présente 50 à 70 % des lichens, puis les Trentepohliales, avec le genre *Trentepohlia*, le plus fréquent. La plupart des Chlorophycées possèdent des cellules à noyau avec un chloroplaste de couleur verte, et des grains d'amidon. Les *Trentepohlia* n'ont pas de grains d'amidon mais des gouttelettes lipidiques de carotène orange.

➤ La seconde classe à laquelle appartiennent 10% des algues des lichens est celle des Cyanophytes (Cyanobactéries) ou Algues bleues. A l'intérieur de cette classe, chez les Nostocales, le genre *Nostoc* est le plus commun. Elles se caractérisent, au niveau cellulaire, par une absence de noyau. Les cellules forment des chapelets, elles ont une coloration bleu vert due à la présence de chlorophylle (verte) et de phycocyanine (Tievant, 2001).

II-4- Reproduction des lichens

II- 4-1- Reproduction végétative

La reproduction asexuée fait intervenir deux structures particulières : les soralies (amas poudreux libérant des sorédies) et des isidies (excroissances du thalle) (Figure 6). Sorédies et isidies sont constituées des deux partenaires (hyphes mycéliens et gonidies). Ces fragments lichéniques sont transportés par le vent et peuvent, en conditions favorables, coloniser de nouveaux milieux (Figure 7) (Reynaud, 2011).

Les isidies sont des organes en forme de petits bourgeons constitués d'algues et de filaments mycéliens. Leur couleur est généralement la même que celle du thalle car ils sont recouverts par le cortex. Ces petites excroissances peuvent très facilement se détacher pour coloniser le substrat proche (Masson, 2014).

Les soralies sont des organes à l'aspect farineux ou granuleux constitués d'algues et de filaments mycéliens qui sont émis par les déchirures du thalle. Leur couleur est généralement différente de celle du thalle. Leur transport par le vent ou les insectes permet la propagation de l'espèce sur de longues distances (Masson, 2014).

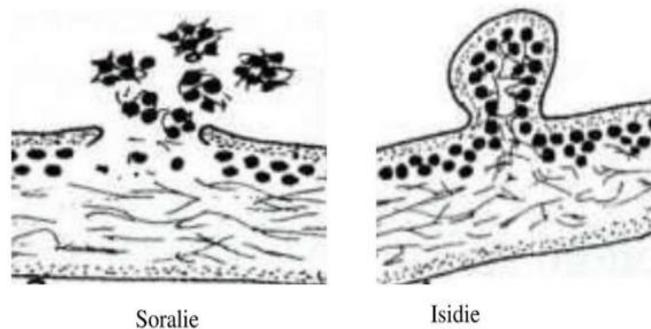


Figure 6 : Les soralies et les isidies (Selosse, 2000).

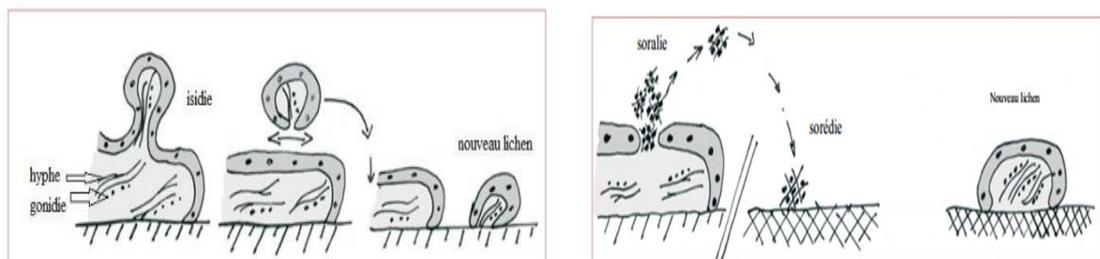


Figure 7 : Schéma représentatif de la reproduction asexuée par les Isidies et les Sorédies (Bellenfant *et al.*, 2010)

II- 4-2- Reproduction sexuée

La reproduction sexuée ne fait intervenir que le partenaire fongique. Elle s'opère via deux structures : l'apothécie (petite coupelle) ou le périthèce (petit dôme présentant un orifice apical) (Figure 8). Celles-ci produisent les spores qui, émises dans l'air, se développeront après la rencontre avec une algue appropriée.

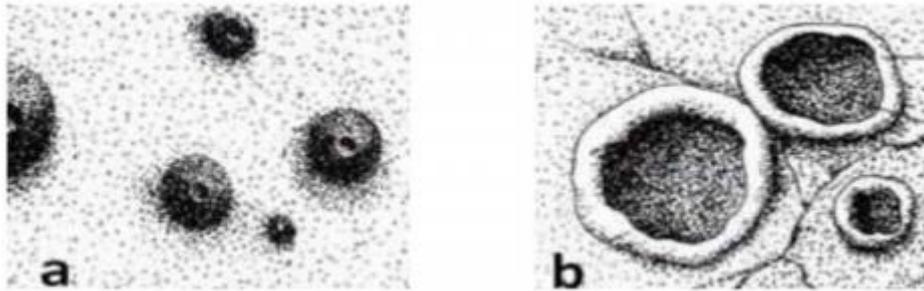


Figure 8 : Reproduction sexuée chez les lichens (a : Périthèce, b : Apothécie) (Tievant, 2001).

II-5- Ecologie des lichens

Les lichens se développent dans les milieux les plus divers dans le monde entier, sous toutes les latitudes et aux altitudes les plus hautes. Ils colonisent les substrats naturels ou artificiels, vivant dans des conditions que ni les gonidies ni le mycélium ne supporteraient s'ils étaient seuls.

Les lichens ont une propriété de reviviscence très grande. En effet, ils ont le pouvoir de passer très rapidement de l'état sec à l'état humide en quelques minutes. C'est un phénomène physique que physiologique. L'absorption d'eau se fait par toute la surface du thalle. Les lichens sont bien adaptés à des variations hydriques de courtes durées et peuvent résister à de très fortes dessiccations (2% de teneur en eau) (Goujon, 2004).

II- 5-1-Exigences écologiques

Le succès avec lequel des lichens colonisent des habitats difficiles (déserts et hautes latitudes et altitudes) ne doit pas masquer que la plupart des espèces ont en fait des exigences écologiques très précises, parfois très étroites (Sérusiaux *et al*, 2004).

- La disponibilité en eau : paraît bien être le premier facteur à considérer. Si les espèces lichénisées avec des cyanobactéries semblent exiger de l'eau sous forme liquide, celles lichénisées avec des algues vertes dépendent de la disponibilité en eau pulvérisée sous forme d'aérosol (brouillards). C'est ce qui explique que les déserts chauds, très secs et où l'eau

n'apparaît que sous forme de pluies sporadiques n'abritent pratiquement pas de lichens, alors que les déserts pratiquement sans pluie mais à brouillards très fréquents sont colonisés par des populations exubérantes de lichens.

- L'éclairement : est bien entendu un deuxième facteur essentiel, beaucoup d'espèces nécessitant un éclairage important.

- La teneur en azote des substrats: l'enrichissement éventuel d'un substrat en nitrates détermine fortement les peuplements lichéniques (Sérusiaux *et al.*, 2004).

L'importance de la qualité de l'air : facteur écologique détermine la présence des espèces de lichens. Une altération même très faible, de la qualité des brouillards ou des eaux de pluie et du pouvoir oxydant de l'air sont importants.

II- 5-2- Intérêt écologique

Les lichens sont utilisés en plusieurs domaines médicaux (les antibiotiques...), industriels (production des huiles...), alimentaires .aussi pour étudier la bioindication et la bioaccumulation pour les caractères physiques ou chimiques sur un milieu considéré. Les lichens représentant une valeur d'importance économique non négligeable (Ouagueni et Sadeddine, 2017).

Chapitre III : *Xanthoria parietina*

III-1- Définition

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

Il s'agit d'une espèce foliacée dont les lobes, disposés en rosette, sont le plus souvent appliqués sur le substrat. L'extrémité des lobes est large et arrondie. Les rosettes ont parfois un aspect plissé, en particulier chez les exemplaires âgés. La face inférieure du thalle est blanchâtre et comporte quelques rhizines (fausses radicelles, issues de la soudure de poils, fixant le thalle à son support) (Boudjerda, 2012).

Comme pour les autres représentants du genre *Xanthoria* et la plupart des représentants de l'ordre des Teloschistales auquel il appartient, la couleur de ce lichen varie du jaune à l'orangé. Cette coloration est due à la présence, dans le cortex, d'une substance sécrétée par le champignon, la pariétine, un composé de la famille des anthraquinones. L'intensité de cette coloration est très variable, et l'on observe parfois, surtout à l'ombre, des thalles plus ternes, d'un gris-vert sans trace apparente de jaune. Il a été montré que la quantité de pariétine dans le cortex variait fortement en fonction de l'éclairement (rôle photoprotecteur pour éviter la destruction par photooxydation), les thalles situés en pleine lumière dans les falaises contenant en moyenne cinq fois plus de ce composé que ceux vivant dans les sous-bois, en particulier de conifères. On peut retrouver un gradient de même nature au sein d'un thalle unique : les parties situées sur la face supérieure des branches sont normalement jaunes alors que les zones situées à la face inférieure sont parfois plus ou moins verdâtres (Figure 9) (Gavériaux, 2011).



A: En plein soleil, la couleur des thalles est souvent très vive, allant jusqu'à l'orangé dans la partie centrale qui accumule la pariétine en réponse aux fortes intensités lumineuses.

B : La couleur la plus fréquente est un jaune vif, les apothécies discoïdes orange vif montrant presque toujours une coloration plus intense.



C: En situation ombragée (ici un sous-bois de cyprès) les thalles sont fréquemment gris-vert.

D : Il arrive également que la présence de pariétine soit limitée aux seules apothécies, orange sur un fond gris. :

Figure 9: Changement de couleur de *X. parietina* en fonction de la luminosité (Jymm, 2010).

III-2- Taxonomie de l'espèce *Xanthoria parietina*

Selon (Clauzade et Roux, 1987) et (Ozenda et Clauzade, 1970), la classification de l'espèce *Xanthoria parietina* est représentée par le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Classification de *Xanthoria parietina* (Clauzade et Roux, 1987 ; Ozenda et Clauzade, 1970).

Classification	
Règne	Fungi
Division	Ascomycota
Sous-embranchement	Pezizomycotina
Classe	Lecanoromycetes
Ordre	Teloschistales
Famille	Teloschistaceae
Genre	<i>Xanthoria</i>
Espèce	<i>Xanthoria parietina</i>

III-3- Répartition géographique de *Xanthoria parietina*

Xanthoria parietina est une espèce cosmopolite, qui ne semble manquer que sur le continent Antarctique : elle habite essentiellement les régions tempérées d'Europe, d'Asie, d'Afrique, d'Amérique du Nord, d'Amérique du Sud et d'Australasie. Elle est cependant absente des massifs forestiers du fait de son héliophile marqué. Il semble toutefois que sa présence en Australie, en Nouvelle-Zélande, en Nouvelle-Guinée et dans l'ouest de l'Amérique du Nord soit liée à des introductions.

Une étude de phylogénie moléculaire portant sur des populations réparties dans le monde entier met en évidence deux groupes dans l'espèce telle qu'elle est actuellement définie : un premier ensemble groupant les populations de péninsule Ibérique, des Baléares et des Canaries, et un second correspondant aux xanthories du reste du monde. L'hypothèse selon laquelle *Xanthoria parietina* pourrait correspondre à un complexe d'espèces cryptiques n'est pas exclue (Boudjerda, 2012).

En Algérie, malgré le fait que les études lichénologiques aient débuté, il y a plus d'un siècle, cette science reste marginalisée à l'issue des autres, pourtant son importance est d'autant plus pesante que nous le croyons. L'étude des lichens en Algérie a commencé il y a plus d'un siècle, mais sous forme d'explorations de naturalistes qui faisaient la collection des espèces lichéniques récoltées sur leur chemin et identifiées par Nylander. Plusieurs botanistes se sont alors succédés en ce sens et ont pu marquer l'histoire de la lichénologie algérienne (Boutabia, 2000).

En Algérie on a environ 1085 espèces de lichens réparties en 187 genres, 73 familles et 20 ordres. La recherche lichénologique algérienne contribuera ainsi à l'enrichissement de la flore nord-africaine et méditerranéenne en général.

III-4- Biochimie et métabolites secondaires

III-4-1- Origine fongique des métabolites secondaires

Comme beaucoup d'autres organismes fixés, les lichens produisent des métabolites secondaires très particuliers. Pas moins de 360 métabolites secondaires sont connus chez les lichens, dont seulement 60 environ ne leur sont pas spécifiques (Mimoune et Fenichi, 2009). En effet, toutes les substances secondaires si caractéristiques des lichens, notamment de l'espèce *X. parietina*, sont d'origine fongique. La plupart sont uniques à ces organismes et seulement une petite minorité (environ 50 à 60) se produisent dans d'autres champignons ou plantes supérieures (Huneck, 1999 ; Dembitsky et Tolsikov, 2005). Par exemple, la pariétine anthraquinone, le pigment orange commun à la plupart des Teloschistales, est présente dans les espèces des genres fongiques non lichénisés *Achaetomium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Dermocybe*, *Penicillium*, ainsi que dans les plantes vasculaires *Rheum*, *Rumex* et *Ventilago*. l'acide lécanorique para-depsides commun est également présent dans le genre fongique *Pyricularia*, tandis que le stérol végétal supérieur typique, le brassicastérol, a également été détecté dans les lichens.

III-4-2- Exemple de métabolisme secondaire des lichens

L'exemple le plus courant est celui des composés aromatiques, notamment les huiles essentielles.

Les huiles essentielles, ou essences aromatiques végétales, sont des substances odorantes, volatiles, huileuses donc de nature hydrophobe, totalement solubles dans les alcools, l'éther et dans les huiles végétales et minérales. Lorsqu'elles sont pures et naturelles, elles ne contiennent aucun corps gras : elles sont uniquement constituées de molécules aromatiques volatiles. (Bachelot *et al*, 2006; El Ajouri *et al.*, 2008). Ces essences peuvent être regroupées en cinq classes : les alcools, les esters, les aldéhydes, les cétones et les lactones et oxydes. Elles sont souvent colorées : du jaune pâle au rouge foncé voire brun, en passant par le vert émeraude ou encore le bleu. Les huiles essentielles sont obtenues par différentes techniques d'extraction (Bachelot, 2006) et possèdent des propriétés antibactérienne, antivirale, antifongique, antiparasitaire...

Un des développements les plus intéressants de ces dernières années sont la reconnaissance du rôle clé joué par les para-depsides en tant que précurseurs potentiels (ou intermédiaires biosynthétiques) des méta-depsides, des depsones, des diphenyléthers, des depsidones et des dibenzofuranes (Figure 10). (Culberson et Elix, 1989). Les depsides et les depsidones sont les composés les plus communs des lichens.

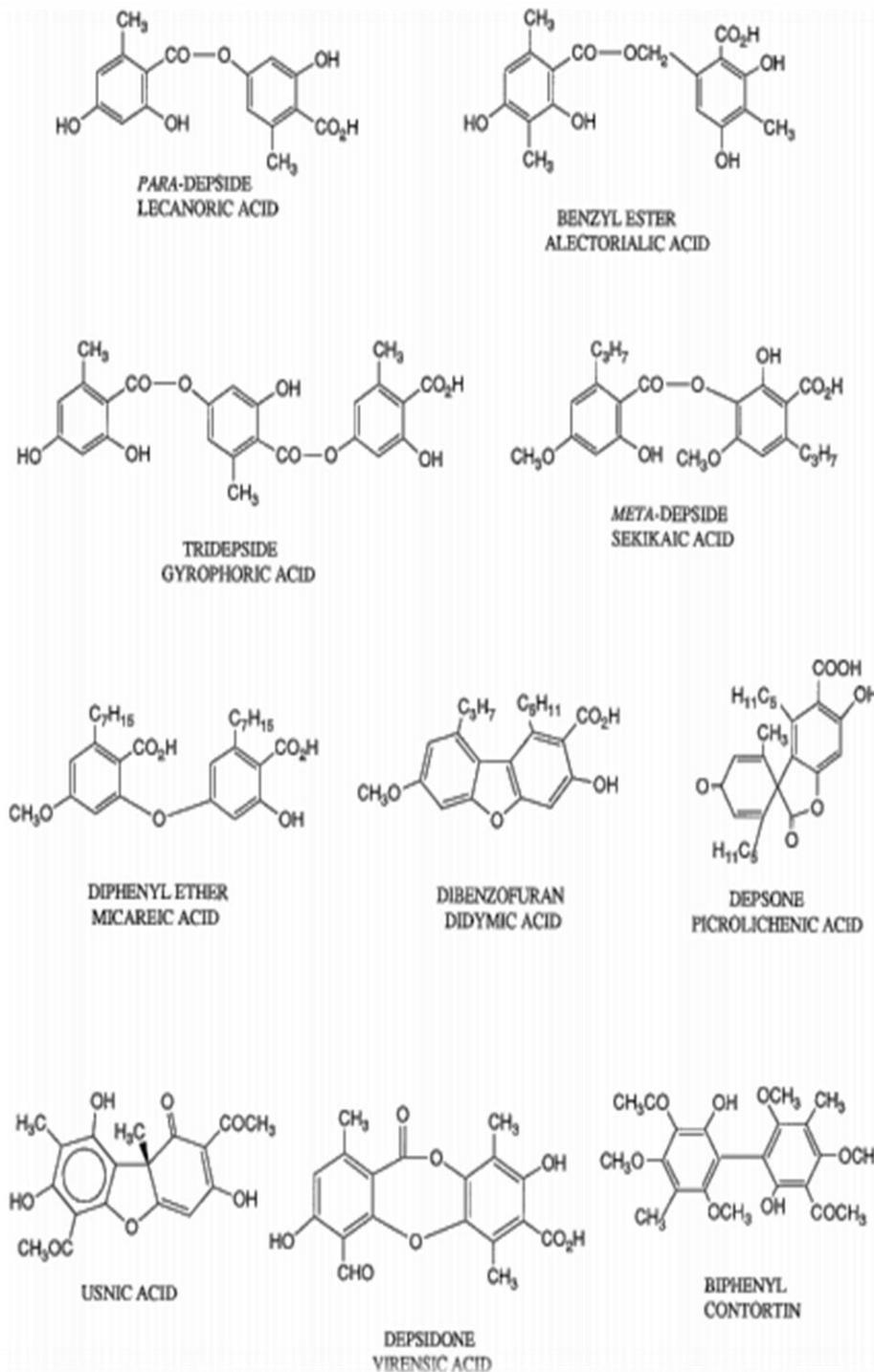


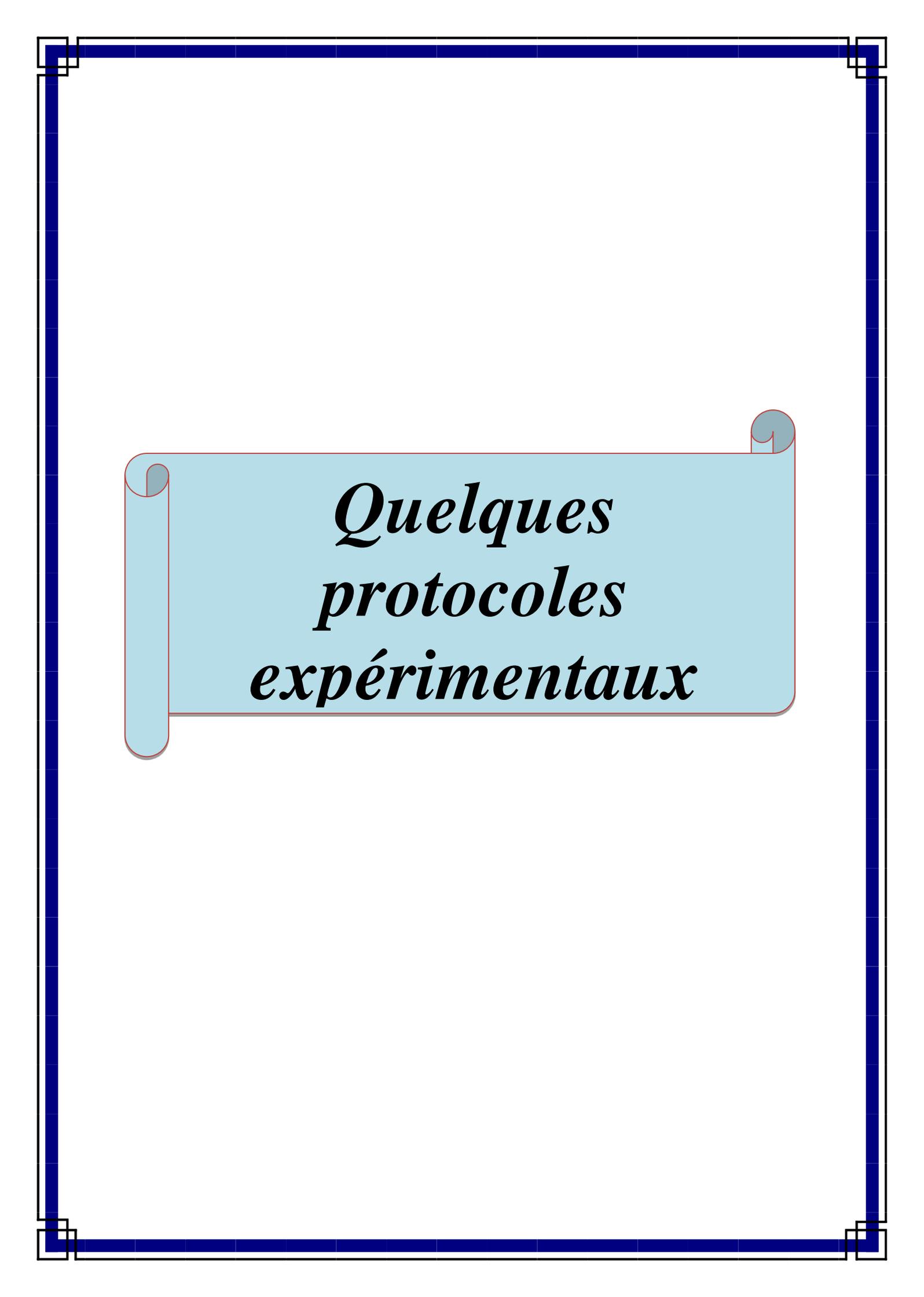
Figure 10 : Principaux métabolites secondaires des lichens (Le Pogam *et al.*, 2015).

III-4-3- Métabolites secondaires de *Xanthoria parietina*

Xanthoria parietina est un lichen épiphyte répandu fréquemment dans les zones polluées par les métaux riches en azote (Dzubaj *et al.*, 2008) (Hauck, 2010). Le principal métabolite secondaire de *Xanthoria parietina* est de famille l'antraquinone hydrophobe pariétine de couleur jaune répartis en couche épaisse dans le cortex supérieur du thalle, juste au-dessus de la couche d'algue constituée de cellules de Trebouxia (Solhaug et Gauslaa, 1996). Il a été prouvé précédemment que la protection contre le rayonnement UV est le principal rôle écophysiological de la pariétine (Solhaug et Gauslaa, 1996). Cependant, les métabolites secondaires déposés sous forme de cristaux extracellulaires des thalles de lichen peuvent avoir de nombreux aspects biologiques et rôles écologiques, dont la détoxification des métaux (Bačkor *et al.*, 2010 a).

A- Activité antiproliférative, antibactérienne et antifongique du lichen *Xanthoria parietina* et son métabolite secondaire « la pariétine »

Xanthoria parietina et les métabolites qui en sont extraits pourraient représenter un outil précieux dans le traitement du cancer et des infections, et pourraient contribuer au développement d'agents nouveaux et sûrs à inclure dans les régimes antimicrobiens, antifongiques et anticancéreux. Cependant, les résultats montrent que l'effet anticancéreux global de l'extrait de lichen ne peut être attribué à son principal métabolite secondaire, l'étain, mais est probablement le résultat de l'action synergique de différents composants présents dans le thalle du lichen. Par conséquent, un dépistage plus approfondi d'autres métabolites du lichen *Xanthoria parietina* sera nécessaire. Avec les récents progrès technologiques, le développement d'options rentables pour la culture et la récolte commerciales de métabolites de lichen comme source de médicaments efficaces contre les bactéries pathogènes et diverses formes de cancer est une avenue très prometteuse à explorer (Adriana *et al.*, 2015).



*Quelques
protocoles
expérimentaux*

Chapitre IV : Quelques protocoles expérimentaux de bio-indication de la pollution atmosphérique

Plusieurs espèces biologiques ont été utilisées récemment dans la bio surveillance de la nature qui a la signification de suivre les données d'un état naturel à l'aide des marqueurs indicateurs et / ou accumulateurs d'une origine biologique. Donc la bio surveillance de la qualité de l'air peut être effectuée à l'aide des espèces biologiques qui donne une évaluation de la qualité de l'air dans une zone précise en fonction des rapports morphologiques, biochimiques et structuraux.

IV-1- Bio-indication de la pollution atmosphérique

La bio-indication est, comme définit par Blandin (1986), un concept qui peut s'appliquer à une infinité de domaines environnementaux (elle touche à toutes les activités humaines) et elle engendre une infinité de méthodes. C'est l'ensemble des méthodes utilisées pour détecter la présence d'une pollution de l'air à l'aide d'un élément biologique qui indique d'une façon directe ou indirecte cette pollution

IV-1-1- Différents types de bio-indication de la qualité de l'air

IV-1-1-1-Bio-indication végétale

D'après Garrec (2011), l'utilisation des plantes sensibles à certains polluants est généralement recommandée pour avoir une idée sur la qualité de l'air dans une région précise. Une variété de plantes est exigée dans le but d'obtenir une biostation. Chaque plante doit avoir une sensibilité envers un polluants ou plus, tel le tabac pour la détection d'ozone, le pétunia pour les hydrocarbures, la luzerne pour le SO₂...etc.(Garrec, 2011).

IV-1-1-2- Bio-indication animale

Une diminution de la densité de certaines populations animales peut prouver un changement nocif dû à la pollution d'un écosystème tels les abeilles et d'autres pollinisateurs volants considérés comme fragiles à la pollution d'air et les pesticides. La diminution de la densité de ces volants indiquent un taux élevé de pollution autour de ces populations (<https://centre-developpement-agroecologie.fr/bioindicateur-biosurveillance-pollution/> 2021. Consulté le 29/05/2022).

IV-1-1-3- Bio-indication microbienne

Les micro-organismes sont également utilisés comme bio indicateurs de santé des écosystèmes aquatiques et terrestres. En raison de leur abondance, ils sont faciles à observer et facilement disponibles. Certains micro-organismes lorsqu'ils sont exposés à des contaminants, comme le cadmium et le benzène, développent de nouvelles protéines appelées *protéines de stress* qui peuvent être utilisées comme signes avant-coureurs. Ils ont un taux de croissance rapide et réagissent même à de faibles niveaux de contaminants et à d'autres changements physico-chimiques et biologiques (<https://centre-developpement-agroecologie.fr/bioindicateur-biosurveillance-pollution/> 2021. Consulté le 29/05/2022).

IV-1-2- Cartographies de la pollution atmosphérique

Il s'agit d'une méthode fournie par l'académie de Lyon visant la mise en vue une cartographie d'une région précis à l'aide des lichens présentent dans cette dernière (https://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html#princip. Consulté le 24/05/2022 ; Bousmina et Bendjouad, 2011). L'utilisation des lichens comme bio indicateurs de la pollution atmosphérique est l'une des méthodes utilisées pour élaborer une cartographie de la pollution en utilisant la densité en espèces lichéniques, la diversité des lichens présentés dans plusieurs arbres dans la zone d'étude afin de calculer l'indice de la qualité de l'air l'élément principale de la cartographie L'indice de la qualité d'air étant une valeur calculée à partir de total des fréquences moyennes des différentes espèces des lichens sur plusieurs arbres.

IV-1-2-1- Méthodes de mesure

La méthode consiste en un comptage direct des espèces de lichens présentes sur les troncs des arbres d'une station choisit

a- Grille de comptage

Une grille de 20cm x 50cm dans laquelle des cadres de 10 cm x 10 cm sont préparés pour le comptage. La grille est placée sur le tronc d'arbre dont le diamètre est supérieur à 20 cm, à 1 mètre de hauteur du sol. L'identification de chaque espèce comptée est exigée dans le but d'établir une liste des espèces présentes dans chaque carrée (Tableau 3).

Tableau 3: Fiche espèces

(https://svt.enseigne.aclyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html#princip). (Consulté le 24/05/2022)

Grille	A,B,C,D.... espèces de lichens sur l'arbre n° 1											
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<ul style="list-style-type: none"> • carré 1 : A, C, D • carré 2 : A, C, D, E, • carré 3 : A, • carré 4 : A, C, D, • carré 5 : C, D, • carré 6 : A, B, C, D, E, • carré 7 : A, B, C, D, • carré 8: A, B, C, D, E, • carré 9 : A, B, F, • carré10 : E,D 	<ul style="list-style-type: none"> • esp A : 8 • esp B : 4 • esp C : 7 • esp D : 7 • esp E : 3
1	2											
3	4											
5	6											
7	8											
9	10											

b- Fiche station

L'opération doit être répétée six fois dans chaque station. Il est recommandé de dresser un tableau dont le nombre de carrés et les espèces présentes afin de calculer la fréquence moyenne (Tableau 3).

Tableau 3 : Exemple de fiche station. (https://svt.enseigne.aclyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html#princip. Consulté le 24/05/2022)

Espèces	Arbre 1	Arbre 2	Arbre 3	Arbre 4	Arbre 5	Arbre 6	Fréquence Moyenne
A	8	6	4	0	3	5	4.3
B	4	5	5	0	1	2	2.8
C	7	10	5	5	6	1	5.7
D	7	7	1	0	5	0	3.3
E	3	2	1	2	0	0	1.3

IV-1-2-2- Indice de la qualité de l'air

L'indice local de la qualité de l'air (ILQA) est calculé à partir de la fréquence moyenne des espèces présentes dans la station pour la raison d'avoir l'information de niveau de la pollution (https://svt.enseigne.aclyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html#princip. Consulté le 24/05/2022).

De la somme de la fréquence moyenne des espèces présentes sur le champ de la station résulte un chiffre qui définit l'indice local de la qualité de l'air (ILQA).

$ILQA = 4.3 + 2.8 + 5.7 + 3.3 + 1.3$ $ILQA = 17.4$
--

Prenant en considération que la relation est inverse entre le taux de pollution et l'indice local de la qualité de l'air c'est-à-dire plus que lorsque l'ILQA est élevé la pollution atmosphérique est faible (Tableau 4).

Tableau 4 : Taux de pollution en fonction d'ILQA (https://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html#princip. Consulté le 24/05/2022).

Pollution	Extrêmement élevée	Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible	Très faible
ILQA	0	12,5	25,0	37,5	50,0	

IV-1-2-3- Fiche carte

Après l'obtention des ILQA nécessaires pour rétablir une carte géographique de la qualité de l'air dans une région donnée, il est recommandé de calculer l'indice moyen de la qualité de l'air rassemblant les ILQA obtenues de différentes stations (Tableau 5).

Tableau 5 : Taux de pollution en fonction d'ILQA (https://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html#princip. Consulté le 24/05/2022).

Extrait de carte N°:	Ville ou village principal.....
Stations	Indice local mesuré
station 1:	
station 2:	
station 3:	
station 4:	
Indice moyen calculé pour la zone géographique	

IV-1-3- Bioaccumulation des polluants de l'air par l'espèce *Xanthoria parietina*

Les lichens sont très dépendants de la qualité de l'air et des eaux de pluie d'où ils tirent leur alimentation. Ils sont peu sensibles aux pics de pollution, ce sont des organismes intégrateurs d'une pollution de fond. Ils peuvent donc nous informer sur la qualité de l'air. Ils ont été largement testés comme bio-indicateurs et/ou bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique au cours des 40 dernières années depuis les travaux de Hawksorth et Rose en 1970 comme indicateurs de la concentration en SO₂ (Khellil *et al.*, 2014).

La bioaccumulation consiste en un dosage des substances contenues dans le végétal étudié, ces substances n'entraînant pas le dépérissement du végétal (Garrec, 1996). La bioaccumulation est donc le processus par lequel les organismes vivants accumulent des substances chimiques directement à partir de l'environnement (air, eau, sol) et de leur nourriture, elle diffère en fonction des organismes. Certains éléments métalliques comme le cuivre et le zinc agissent à faible concentration comme micronutriments pour la plante, mais lorsqu'ils sont en excès, ils peuvent inhiber la croissance.

IV-1-3-1- Accumulation des hydrocarbures totaux

Dans le but de voir la capacité lichénique à fixer les hydrocarbures totaux, une étude a été basée sur l'utilisation d'un protocole pour l'estimation de P(HCt) d'une façon indirecte à l'aide d'une méthode gravimétrique après évaporation de solvants (Fadel *et al.*, 2009).

IV-1-3-1-1- Dosage indirecte des hydrocarbures totaux

La procédure repose sur 5 étapes essentielles.

- 1- Les hydrocarbures totaux sont extraits dans une solution d'hexane 95% dans un dispositif de Soxhlet.
- 2- La solution est évaporé à l'aide d'un bain marie a une température de 90°C.
- 3- L'extrait est séché par la suite dans un étuve à 90°C jusqu'à 100°C.
- 4- La dernière étape est une discrimination à l'aide d'un gel de silice.
- 5- Prise de poids.

IV-1-3-1-2- Estimation du poids des hydrocarbures totaux

L'estimation du poids des hydrocarbures totaux est réalisée en utilisant la formule ci-dessous. Les résultats sont exprimés en ppm (partie par million) (Fadel *et al.* 2009).

$$P(hct) = \frac{(p(cp) - P(cv))}{P(e)} \times 10^6$$

IV-1-3-1-3- Valeurs limites des concentrations en hydrocarbures

Le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 qui a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, limitait le rejet des hydrocarbures totaux au seuil de 10 mg/l.

Dans une étude élaborait par (Fadel *et al.*, 2009) dans le but de construire une cartographies des régions polluées de pole pétrochimique de Skikda pendant une période de 6 mois , les résultats varient entre 15216.10 mg/g et 66820.25 mg/g, cette variation de l'accumulation des hydrocarbures totaux au niveau des thalles de lichen *Xanthoria parietina* explique une variation des taux de pollution en fonction de site d'échantillonnage et/ou une variation d'accumulation des taux de pollution par rapport aux conditions climatique et métrologique,

Il est à noter que la Directive 2008/50/CE du parlement Européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe les valeurs limites de concentration en benzo (a) pyrène à : 1 ng/ m³ d'air Pour l'application du présent article, le benzo (a) pyrène est utilisé comme traceur du risque cancérrogène lié aux hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.

IV-2- Dosage de la chlorophylle chez les transplants de *Xanthoria parietina*

2-1-Technique de prélèvements des échantillons

Le prélèvement s'effectue au début de chaque mois :

- Détacher une partie des thalles des lichens sur le phorophyte à l'aide d'un couteau ou une pince. 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.

- Les prélèvements ont lieu chaque mois au niveau de tous les sites.
- Les thalles transplantés sont toujours prélevés le même jour pour tous les sites.
- Le traitement des échantillons est effectué le même jour ou le lendemain de leur prélèvement avec trois répétitions pour chaque site et à chaque mesure.

IV-2-2- Dosage de la chlorophylle

Évaluer les effets de la pollution sur la photosynthèse, notamment sur la photosynthèse chlorophyllienne des lichens *Xanthoria parietina*, méthode proposée par (Rao et Le Blanc, 1965). Il s'agit d'utiliser les chlorophylles a et b .

- ❖ L'extraction de la chlorophylle chez lichens se fait par broyage de 300 mg de thalle avec 150 mg de carbonate de calcium (CaCO_3) et 15 ml d'acétone à 80% (CH_3COCH_3) dans un mortier.
- ❖ Après broyage total, la solution est ensuite filtrée à l'aide d'un papier filtre et mise dans des boîtes noires, afin d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière .
- ❖ Le dosage se fait par le prélèvement de 1ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre et le passage à la lecture.
- ❖ La lecture se fait aux deux longueurs d'ondes 645 nm et 663 nm et l'étalonnage de l'appareil se fait par la solution témoin d'acétone à 80%.
- ❖ Le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce à la formule de Arnon (1949).

$$\mathbf{Chl.a} = 12.7 (D.O_{663}) - 2.69 (D.O_{645})$$

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

} (Hiscox *et al.*, 1978)

$$\mathbf{Chl.a + Chl.b} = 8.02 (D.O_{663}) + 20.2 (D.O_{645}) \quad (\text{Brown et White Head, 1986}).$$

IV-2- 3- Teneur en chlorophylle a, b et ab

Les concentrations des chlorophylles a, b et ab d'un témoin pour une exposition zéro à la source de pollution atmosphérique sont montrées dans une étude de (Khalil *et al.*, 2014) égale à 29.76 µg/g en chlorophylle a, 26.61 µg/g en chlorophylle b et 56,38 µg/g en chlorophylle ab (Ougueni et Sadeddine, 2017).

Les teneurs en chlorophylle a , b et ab diminuent au niveau des sites de transplantation lors de l'exposition de l'espèce à une source de pollution par rapport aux témoin qui présentent une teneur plus élevée, des valeurs minimale ont étaient marquer en chlorophylle a, 6,21 µg/g, 2.55 µg/g en chlorophylle b et 11,01 µg/g en chlorophylle a,b (Ougueni et Sadeddine, 2017).

La teneur en chlorophylle, chez *Xanthoria parietina* bio indicateur a tendance à diminuer dans les sites fortement pollués à cause de la perturbation du processus photosynthétique ainsi que la dégradation de la matière fraîche. Ce rapport est toujours considéré comme un bon indicateur de l'état de l'environnement, il tend à diminuer lorsque le milieu est pollué et vice versa.

IV-3- Accumulation des éléments traces

De nombreux travaux scientifiques indiquent que l'espèce *Xanthoria parietina* est un excellent accumulateur de métaux lourds. Les méthodes de préparation et de dosage des métaux dans le sol sont, généralement, identiques à celles utilisées pour les feuilles, les lichens, les champignons (Alfani *et al.*, 1996 ; Cuny, 1995).

IV-3-1-Technique de dosage de plomb et de zinc

La méthode utilisée consiste à déshydrater les thalles récoltés qui sont ensuite broyés dans des conditions aseptiques pour éviter toute forme de contamination.

- Des échantillons de lichens sont prélevés le même jour pour chaque site d'étude.
- Après déshydratation pendant au moins 72 heures à 105 °C,
- Pesage et nettoyage à l'eau oxygénée bouillante
- Minéralisation de lichen

- Le dosage est effectué dans une solution déci normale de HCl (Deruelle, 1981).
- L'étape finale est une minéralisation et mise en solution de la poudre obtenue après calcination est placée dans une solution acide et oxydante (0,5 ml de mélange d'acide nitrique HNO₃, d'acide fluorhydrique HF et d'acide perchlorique ClHO₄) par chauffage dans un bain marie pendant 24 heures pour détruire la totalité de la matière organique.

Il est nécessaire d'ajouter 10 ml d'eau distillé pour le dosage du plomb par spectrométrie d'absorption atomique en mode d'atomisation électrothermique.

IV-3-2- valeurs limites des concentrations des éléments traces (plomb/ zinc)

Le lichen est capable d'accumuler les différents éléments toxiques particulièrement les métaux lourds ou les éléments traces métalliques tel que le plomb qui influe sur les processus de la photosynthèse (Ougueni et Sadeddine, 2017).

IV-3-2-1- Valeurs limites de concentrations en plomb

L'OMS classe le plomb parmi les 10 produits chimiques gravement préoccupants pour la santé publique qui appellent une action des États Membres pour protéger la santé des travailleurs, des enfants et des femmes en âge de procréer. Un seuil est fixé en 2005 à 0.5 µg/m³ (Gérard , 2006). La valeur limite de concentration en plomb dans l'air ambiante doit être respectée pour éviter toute forme d'exposition à cet élément métallique qui provoque par la suite des intoxications par inhalation de particules de plomb issue d'une combustion ou par ingestion des poussières contaminées par le plomb.

Le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, limitait le rejet de plomb dans l'air à une concentration égale 0.5mg/l avec une tolérance aux valeurs pour les anciennes installations jusqu'à 1 mg/l Pour minimiser le taux d'exposition pour des objets défiaient par l'OMS afin de protéger les travailleurs des usines et l'habitat de risque des plombémies.

Directive n° 86/278 du 12/06/86 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols fixe la concentration massique de plomb sédimentait sur les sols utilisée pour l'agriculture au plafond de 300 mg/kg. Dans le but de minimiser les taux de plomb accumulé par les végétaux destinés à la consommation humaine.

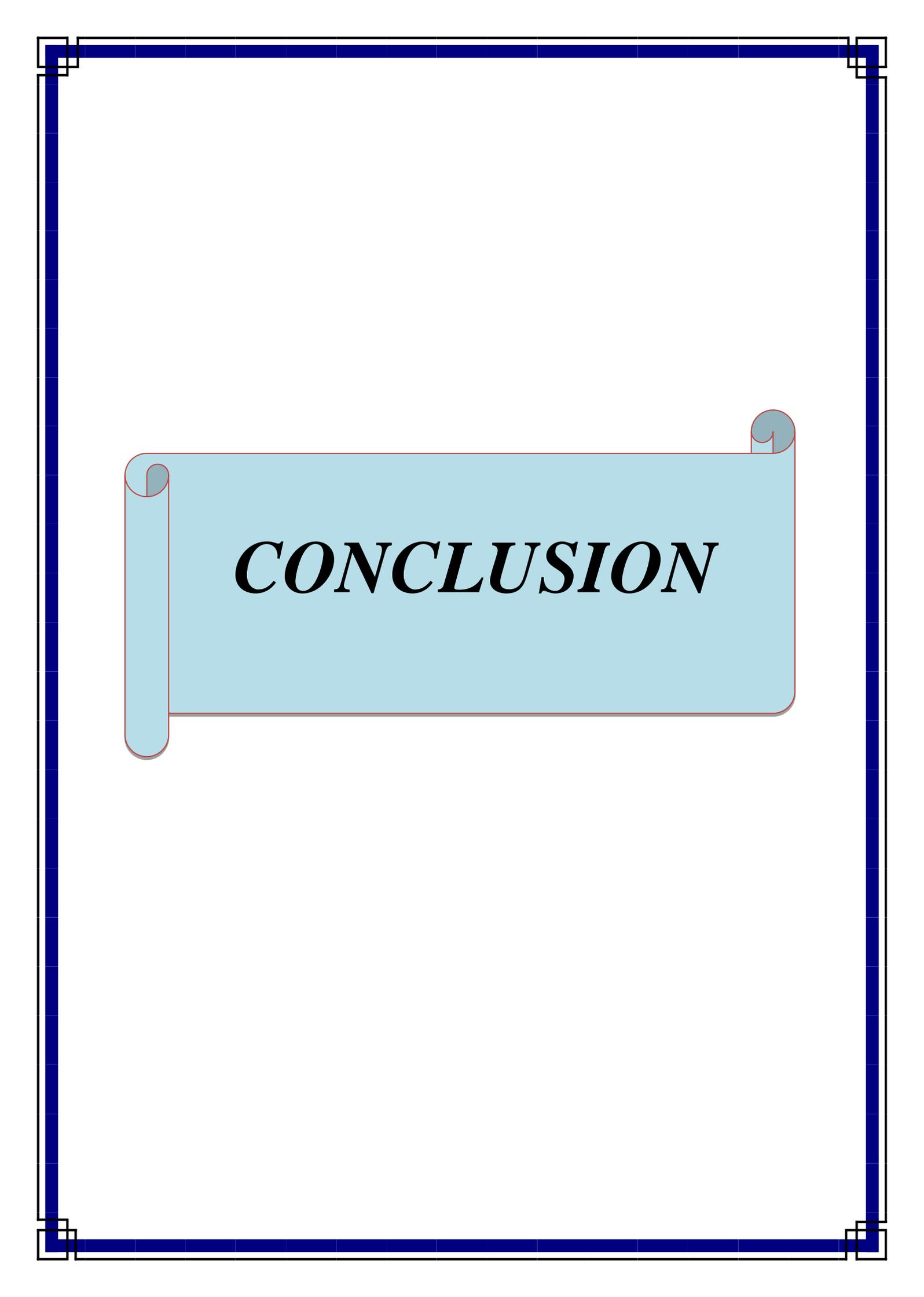
Des résultats élaborées par des recherches en Algérie (Belhadj, 2014 ; Djebbar *et al.*, 2014) montrent une variation des taux d'accumulation de plomb par l'espèce *Xanthoria parietina* ce qui remarquait dans ces travaux c'est bien que le degré de tolérance de cette espèce lichénique vis-à-vis des éléments étudiés ce qui la qualifie d'être bio-accumulatrice des polluants atmosphériques dont les métaux lourds

IV-3-2-2- Valeurs limites de concentrations en zinc

Le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, limitait le rejet de plomb dans l'air à une concentration égale 0.5 mg/l dans les rejets d'influents liquides industriel , 2.5 mg/l dans les industries mécanique 2 mg/l dans le verre et 2 mg/l dans le ciment , le plâtre et le chaux

La teneur maximal en zinc dans une recherche de (Djebbar *et al.*, 2014) est de 150 ug/g. C'était la concentration la plus élevée pour des thalles échantillonnés à partir des troncs d'arbre situe dans la région de Bab el Zouar, la région qui est connue par une forte activité du trafic.

Les valeurs de concentration en zinc dans les échantillons examinée par (Djebbar *et al.* , 2014) montrent une forte pollution en zinc dans la région d'Alger par rapport à la valeur limite 1,25ug/g liée au facteur anthropique : le trafic routier et les activités industriels.



CONCLUSION

Dans ce travail on a visé à construire une démarche scientifique dans le but de lier les principaux éléments de la lutte contre la pollution atmosphérique se basant sur des méthodes biologique. L'espèce lichénisée *Xanthoria parietina* est l'une des espèces biologiques les plus utilisées dans la bio indication de pollution de l'air à travers l'accumulation de certains polluants d'origine anthropique au niveau des thalles foliacés

La cartographie de la pollution atmosphérique est l'une des méthodes utilisées en bio indication écologique pour élaborer des cartes bien définies de l'air pollué à l'aide des espèces biologiques, à travers des étapes permettant l'identification de l'indice local et moyen de la qualité de l'air

La contamination de l'air par les hydrocarbures totaux peut être identifiée par l'espèce *Xanthoria parietina* à travers le dosage des chlorophylles a,b et ab qui donne une signification sur la fixation de ces éléments. En effet, la diminution des teneurs en chlorophylle a, b et ab dans les sites présentant une contamination par les hydrocarbures totaux, causant ainsi des problèmes photosynthétiques, peuvent prouver l'accumulation de ces polluants au niveau des thalles foliacés

Les teneurs en plomb et en zinc sont de très bons indicateurs de la contamination de l'air. Ces éléments présentent un risque sur la santé humaine en cas d'accumulation de concentrations élevées. Le cancer, l'encéphalopathie convulsivante et la diminution du nombre des globules rouges sont les atteintes les plus fréquentes à cause du plomb (Gérard, 2006). Quant au zinc, des symptômes peuvent apparaître chez l'homme par son exposition aux fortes concentrations de celui-ci : des difficultés à parler, à marcher, des tremblements et des troubles digestifs (nausées et vomissements) (Peggy, 2015).

L'accumulation de ces deux éléments traces métalliques par l'espèce *Xanthoria parietina* donne une estimation de la variation des taux de pollution métallique de l'air dans une région donnée à partir des valeurs marquées lors de l'analyse des échantillons.

Quelques recommandations utiles

- L'OMS estime que, chaque année, des millions de décès sont dus aux effets de la pollution atmosphérique, principalement à des maladies non transmissibles. L'air pur devrait être un droit humain fondamental et une condition nécessaire à la santé et à la productivité des sociétés. Toutefois, bien que la qualité de l'air se soit quelque peu améliorée au cours des trois

dernières décennies, des millions de personnes continuent de mourir prématurément, souvent dans les populations les plus vulnérables et marginalisées

- Environ 270 000 décès annuels sont imputables à la pollution atmosphérique, un chiffre plus élevé que le cumul des décès dus aux accidents de la route, au diabète, au paludisme, à la tuberculose, au VIH/sida et à l'hépatite aiguë ; ces forts taux de pollution coûtent à l'habitant moyen au moins 60 jours de maladie au cours de sa vie. Les coûts économiques induits sont considérables : environ 141 milliards de dollars par an (<https://www.banquemonddiale.org/fr/news/press-release/2022/02/07/mena-s-polluted-skies-and-seas-hurt-economies-livelihoods> consulté le 15/06/2022)

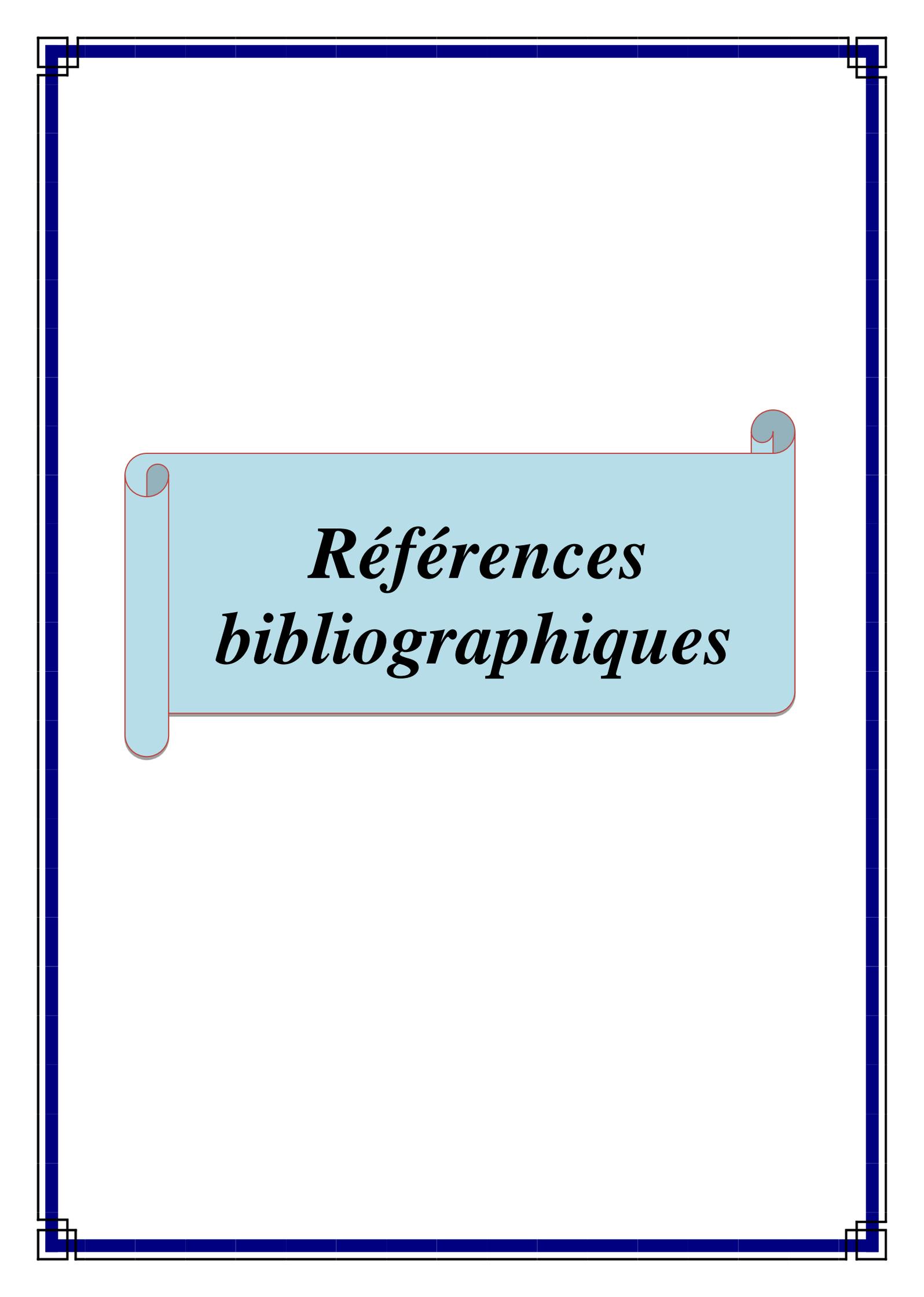
- Les nouvelles lignes directrices de l'OMS recommandent des seuils de qualité de l'air concernant six polluants, pour lesquels on dispose des données les plus récentes quant à leurs effets sur la santé. Le fait de prendre des mesures contre ces polluants dits classiques (particules en suspension (PM), ozone (O₃), dioxyde d'azote (NO₂), dioxyde de soufre (SO₂) et monoxyde de carbone (CO)) a également un impact sur d'autres polluants nocifs.

- La pollution de l'air est l'un des problèmes majeurs qui est considérée comme la première cause de réchauffement climatique. Pour résoudre ce problème, il est recommandé de suivre une politique sérieuse pour en venir à bout des polluants de l'air

- Il est recommandé de suivre la situation de l'air à l'aide de transplants des lichens dans les régions suspects d'être polluées par des métaux lourds pour la prévention l'habitat de ces régions

- La sensibilisation est souhaitée pour les élèves des classes moyennes et secondaires à partir de l'intégration de l'intérêt écologique des lichens dans les programmes scolaires sous forme des cours en science de la nature, des exercices, des travaux collectifs afin de construire l'élite qui lutte contre la pollution de l'air qu'on respire.

Enfin comme perspective, il serait intéressant de reprendre ce travail en mettant en pratique les techniques de dosage citées précédemment afin de compléter cette étude bibliographique.



*Références
bibliographiques*

A

Ah-peng, C., et Rausch de traubenberg, C. (2004). Bryophytes aquatiques bioaccumulateurs de polluants et indicateurs écophysiologicals de stress: synthèse bibliographique1. *Cryptogamie, Bryologie*, 25(3), 205-248.

Air parif. Comprendre les polluants de l'air [en ligne]. (page consulté le 14/04/2022). <https://www.airparif.asso.fr/comprendre-la-pollution/comprendre-les-polluants-de-lair>

Amirouche N., Bougue दौरa N., Hadj- Arab H. (2016). Les lichens. In: Botanique: algues, champignons, les lichens. Éditions Houma, Alger, p 64-66.

B

Basile, A., Rigano, D., Loppi, S., Di Santi, A., Nebbioso, A., Sorbo, S., ... et Bontempo, P. (2015). Antiproliferative, antibacterial and antifungal activity of the lichen *Xanthoria parietina* and its secondary metabolite parietin. *International journal of molecular sciences*, 16(4), 7861-7875.

Belhadj Hanane (2015). Détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen *Xanthoria parietina* (L.) bio-accumulateur d'éléments traces métalliques dans le centre urbain de la ville de Sidi BelAbbes (Algérie occidentale). Thèse de doctorat : Sciences de l'Environnement. Université SIDI BEL ABBES, 99 p .

Bac ́kor, M. et Dzubaj, A. (2004). Short-term and chronic effects of copper, zinc and mercury on the chlorophyll content of four lichen photobionts and related alga. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*,95, 271–284.

Bac ́kor, M. et Zetikova, J. (2003). Effects of copper, cobalt and mercury on the chlorophyll content of lichens *Cetraria islandica* and *Flavocetraria cucullata*. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*,93, 175–187.

Bac ́kor, M., Dvorsky, K. and Fahselt, D. (2003). Influence of invertebrate feeding on the lichen *Cladonia pocillum*. *Symbiosis*,34, 281–291

Boudjerda Moufida (2012). Etude d'effet du plomb et du fluor sur certains métabolites primaires et secondaires chez le lichen. *Xanthoria parietina*. Mémoire fin d'étude : Pathologie des Ecosystèmes. UNIVERSITE DE JIJEL, 49p .

Boullard B. 1990- Guerre et paix dans le règne végétal. Ed. Ellipses et Marketing, 336p

Boussouara, K. (2010). Etude des missions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne. Thèse doctorat : Energétique. Université de Constantine, 206 p .

Bousmina A.,Benjaoud S (2011). Cartographie des zones de pollution par la bio-indication lichénique. Mémoire fin d'étude : Toxicologie de l'environnement. Université de JIJEL, 66p .

Boutabia L., 2000 – Dynamique de la flore lichénique corticole sur *Quercus suber* L. au niveau du parc national d'El Kala. Mém. Mag. Univ. Annaba, Algérie, 150 p.

C

Clauzade G. et Roux C., 1985 - Likenoj de Okcidenta Europo. Ilustria determinlibro.Royan, S. B. C. O. Bull. Soc. Bot. Centre Ouest (n° spec. 7), 893 p.

D

Des Abbayes H. (1951) Traité de Lichenologie. Encyclopédie Biologie. Ed. Paul Lechevalier, 217 p.

F

Fadel, D. A. D. E. L.,et Baha-Eddine, B. A. D. O. U. N. A. (2015). Enjeux Et Concept Des Espaces Verts Dans le Developpement Durable Urbain: Proposition D'amenagement D'un Espace Vert Forestier D'une Ville Du Nord-Est Algerien Issues and Concept of the Green Spaces in the Urban Sustainable Development: Proposal of Development of a Forest Green Space of a City of the Algerian Northeast. In Symposium International: Société, Agro-Biotechnologie, Environnement et Développement Durable.

Fadel, D., Djamai, R., Laïfa, A., Benslama, M., et Boughambouz, I. (2009). Bio-indication de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures totaux du complexe pétrochimique de Skikda (nord-est algérien) à l'aide d'une espèce lichénique épiphyte *Xanthoria parietina*. *Revue Ecologie & Environnement*, (5), 48-56.

G

Garrec, J. P. (2019). What is the impact of air pollutants on vegetation. *Encyclopedia of the environment*.

Gavériaux, J. P. Première découverte dans le département du Nord (France, 59).

Georges Grousset, IA-IPR. La cartographie des zones de pollution par la bio-indication lichénique [en ligne]. (page consulté le 25/05/2022). https://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/IMG/environnement/carto_lichen.html

Goujon M., 2004 - Lichens et bio-surveillance de la qualité de l'air. Publication de l'Agence Régionale de l'Environnement de Haute-Normandie : Connaitre pour agir, 4 p.

J

Jean, P (2011). Une utilisation originale de la bio-indication végétale. *Biosurveillance de la pollution atmosphérique* [en ligne], 80-82 (page consulté le 26/05/2022). https://www.appa.asso.fr/wp-content/uploads/2020/02/Garrec_2011.pdf

K

Kalinowska, R., Bačkor, M., et Pawlik-Skowrońska, B. (2015). Parietin in the tolerant lichen *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. increases protection of *Trebouxia* photobionts from cadmium excess. *Ecological Indicators*, 58, 132-138.

Khelil, R., El Hadj-Khelil, A. O., Dadamoussa, B., Cabello-Hurtado, F., & Esnault, M. A. (2015). Effet de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures sur le lichen *Xanthoria parietina* (L.) Th (Teloschistaceae) dans la zone de Hassi Messaoud (Sahara septentrional algérien). *Algerian Journal of Arid Environment*, 4(2), 98-106.

Kimouche M (2020). Identification des molécules bioactives lichéniques. Mémoire fin d'étude : science pharmacologique. Université Jijel, 30p .

Koller E. (2009). Technique d'épuration de l'air. In : Traitement des pollutions industrielles. 2ème édition dunod, France, p 203-298.

Kouadria, N., Belhoucine, F., Bouredja, N., Kaci, M. A., Abismail, Y., et Berrebbah, A. A. (2020). Bioaccumulation of lead by "*Xanthoria parietina*" and "*hylocomium splendens*", and its effect on some physiological parameters.

L

Lacoux D et Engler R (2012). Compte-rendu de la session de l'AFL dans l'Hérault, Bulletin de l'Association Française de Lichénologie (AFL), vol. 37, fascicule 1.

Lacour S. (2001). Cours de pollution atmosphérique. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique France, 43 p.

M

Masson J-C. (2014). Les lichens, bio-indicateurs de la qualité de l'air, 11p .

Mazoue S., Service D'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). (1994). Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport Setra - Cstr N° B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement, 67 p.

Merabti, K., Rebbas, K., Beddiar, A., AIT, H. M., & Boutabia, L. (2018). Inventaire des lichens de la région Est d'Alger et leurs utilisations comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique. *Revue Ecologie-Environnement*, 42, 9-18.

N

Nash, III, T. H. (Ed.). (2008). *Lichen Biology* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Nimis, P. L., Lazzarin, G., et Gasparo, D. (1991). Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto Region. *STUDIA GEOBOTANICA*, 11, 3-76.

O

Ouagueni N. et Sadeddine H (2011). Bio-surveillance des émissions atmosphériques générées par la cimenterie de Sour El Ghozlane à l'aide d'un lichen (*Xanthoria parietina*). Mémoire fin d'étude : Eau, Santé et Environnement. Université BOUIRA, 64p .

Ourari M. (2016). Les lichens. In : Cours de botanique. Edition : pl n°5331, office des publications universitaires, Alger, p 48-53.

Ozenda P. et Clauzade G., 1970 – Les lichens : Etude Biologique et flore illustrée. Ed. Masson et Cie, 801 p.

P

Pope III, C. A., et Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*, 56(6), 709-742.

R

Reynaud J. (2011). Les lichens. In : botanique comprendre la botanique histoire, évolution, systématique. Ellipses, p85- 88.

Respire, Association Nationale pour l'Amélioration de la Qualité de l'Air et la Défense des Victimes de la Pollution, Effets sur la santé [en ligne] . (page consulté le 14/04/2022)

Roda C. (2012). Exposition domestique à des polluants chimiques de l'air intérieur : modélisation et évaluation de l'impact sur la santé respiratoire chez le jeune enfant. Thèse de doctorat, santé publique, université Paris Descartes, 219p.

Rotteri, S. (1982). Determination of total hydrocarbons in water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 11(3-4), 263-269.

S

Sarmoum, M., Djebbar, R., et Latreche, K. (2014). Bioaccumulation de trois métaux lourds (Pb, Zn et Cd) par le lichen, *Xanthoria parietina*, dans la région Algéroise. *Revue Ecologie-Environnement* ISSN, 1112-5888.

Scal air. La pollution de Lair. [PNG] In: Scal air. Disponible sur :< <https://www.scalair.nc/l-air-en-question/generalites/sources> > (Consulté le 17/06/2022).

Sérusiaux E, Diederich p et Lambinon J, 2004 - Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg et du nord de la France

Solhaug, K. A. et Gauslaa, Y. (2004). Photosynthates stimulate the UV-B induced fungal anthraquinone synthesis in the foliose lichen *Xanthoria parietina*. *Plant Cell and Environment*, 27, 167–176.

T

Tieva P., 2001 – Guide des lichens : 350 espèces de lichens d'Europe. Delachaux et Niestlé, 304 p

Sérusiaux, E., Diederich, P., et Lambinon, J. (2004). Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg et du nord de la France. Clés de détermination.

Stamenković, S., Cvijan, M., et Arandelović, M. (2010). Lichens as bioindicators of air quality in Dimitrovgrad (South-Eastern Serbia). *Archives of Biological Sciences*, 62(3), 643-648.

W

Wikipedia. Xanthoria parietina (19 décembre 2021).[PNG] In :Disponible Sur :<https://fr.wikipedia.org/wiki/Xanthoria_parietina> (consulté le 25 octobre 2021)

Y

Yahia, N., et Marniche, F. (2019). Inventaire des espèces lichéniques et estimation de la qualité de l'air dans le massif forestier de Chréa. *Revue des bio ressources*, 9(1), 13-13.

Résumé

La détermination quantitative de la pollution de l'air des zones industrielles, urbaines ou autre, nécessite des moyens importants et très onéreux pour établir un réseau de surveillance grâce à des capteurs physiques. En effet, la surveillance classique de la pollution atmosphérique obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques élaborées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit l'Algérie, à l'instar des autres pays, à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants surveillés sont dosés : c'est ce qu'on appelle la bio-surveillance. La bio-indication de cette pollution demeure un moyen complémentaire et parfois substitutif aux capteurs physiques. En effet, ce moyen sans coût, réside dans l'utilisation d'un matériel biologique permettant d'une part de capter les polluants émis par les unités des zones polluées, et d'autre part de les quantifier. La bio-indication lichénique, par l'espèce *Xanthoria parietina*, est utilisée pour détecter et quantifier les hydrocarbures totaux émis par une source diffuse d'une part ainsi que d'autres éléments traces tels que le plomb et le zinc. Dans ce contexte, nous proposons de mettre en exergue et à la disposition du lecteur (les étudiants, en l'occurrence) les principales techniques et les étapes à suivre pour mettre en évidence la pollution atmosphérique d'un site ou d'une région, à l'aide d'un organisme vivant, en l'occurrence le lichen. Ces outils de bio-surveillance sont, en effet, devenus indispensables pour orienter la politique publique en matière de gestion des risques sur l'environnement.

Mots clés : Pollution atmosphérique ; Bio-indication ; Lichen ; *Xanthoria parietina*.

Abstract

The quantitative determination of air pollution in industrial, urban or other areas requires important and very expensive means to establish a monitoring network using physical sensors. Indeed, the classical monitoring of air pollution is subject to specific constraints that require the deployment of elaborate and costly techniques. These constraints have led Algeria, like other countries, to favour the use of living organisms in which the contaminants being monitored are measured: this is what is known as bio-monitoring. Bio-indication of this pollution remains a complementary and sometimes a substitute for physical sensors. Indeed, this costless method involves the use of biological material that enables the pollutants emitted by units in polluted areas to be captured and quantified. Lichenic bio-indication, using the species *Xanthoria parietina*, is used to detect and quantify total hydrocarbons emitted by a diffuse source on the one hand, and other trace elements such as lead and zinc on the other. In this context, we propose to highlight and make available to the reader (students, in this case) the main techniques and steps to be followed in order to highlight the air pollution of a site or a region, using a living organism, in this case the lichen. These bio-monitoring tools have indeed become indispensable for guiding public policy in terms of environmental risk management.

Key words: Air pollution; Bio-indication; Lichen; *Xanthoria parietina*.

ملخص

إن تحديد كمية التلوث الجوي في المناطق الصناعية او العمرانية يحتاج أدوات كثيرة ومكلفة من أجل وضع إنشاء شبكة مراقبة بواسطة أجهزة استشعار، لهذا المراقبة الكلاسيكية للتلوث الهوائي تنصاع لقيود محددة تستلزم تعيين تقنيات مفصلة ومكلفة، هذه القيود أدت بالجزائر على غرار بلدان أخرى إلى المسارعة إلى استعمال كائنات حية التي تساهم في مراقبة الملوثات الهوائية وتحديد تركيزها هذا ما يسمى بالمراقبة الحيوية، التأثير الحيوي لهذا التلوث يبقى وسيلة تكميلية وأحيانا بديل للمستشعرات ، بهذا تكون هذه الوسيلة مجانية باستعمال أجهزة بيولوجية تسمح باستشعار الملوثات المنبعثة من طرف وحدات المناطق الملوثة و تحديد قيمتها من جهة أخرى ، التأثير الحيوي بواسطة الأشنات من نوع *Xanthoria parietina* المستعملة في تحديد و تقييم الهيدروكربونات الكاملة المنبعثة من طرف مصدر ناشر من جهة إضافة إلى عناصر التتبع مثل الرصاص و الزنك في هذا السياق نقترح تسليط الضوء و إتاحتها للقارئ (الطلاب في هذه الحالة) التقنيات الرئيسية و المراحل المتبعة من أجل تسليط الضوء على ال تلوث الهوائي لموقع أو لمنطقة بمساعدة كائن حي الأشنات في هذه الحالة ، هذه الأدوات المستعملة في المراقبة الحيوية تصبح ضرورية من أجل توجيه السياسات العامة في إدارة المخاطرة الطبيعية

الكلمات المفتاحية : تلوث الهواء ، التأثير الحيوي ، الأشنات،

Année universitaire : 2021-2022

Présenté par : BOUAOUNE Oussama
KHALFAOUI Mohamed-
Abdelouadoud

Bio-indication écologique à l'aide de l'espèce lichénique *Xanthoria parietina*

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Mycologie et Biotechnologie Fongique.

La détermination quantitative de la pollution de l'air des zones industrielles, urbaines ou autre, nécessite des moyens importants et très onéreux pour établir un réseau de surveillance grâce à des capteurs physiques. En effet, la surveillance classique de la pollution atmosphérique obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques élaborées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit l'Algérie, à l'instar des autres pays, à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants surveillés sont dosés : c'est ce qu'on appelle la bio-surveillance. La bio-indication de cette pollution demeure un moyen complémentaire et parfois substitutif aux capteurs physiques. En effet, ce moyen sans coût, réside dans l'utilisation d'un matériel biologique permettant d'une part de capter les polluants émis par les unités des zones polluées, et d'autre part de les quantifier. La bio-indication lichénique, par l'espèce *Xanthoria parietina*, est utilisée pour détecter et quantifier les hydrocarbures totaux émis par une source diffuse d'une part ainsi que d'autres éléments traces tels que le plomb et le zinc. Dans ce contexte, nous nous proposons de mettre en exergue et à la disposition du lecteur (les étudiants, en l'occurrence) les principales techniques et les étapes à suivre pour mettre en évidence la pollution atmosphérique d'un site ou d'une région, à l'aide d'un organisme vivant, en l'occurrence le lichen. Ces outils de bio-surveillance sont, en effet, devenus indispensables pour orienter la politique publique en matière de gestion des risques sur l'environnement.

Mots-clefs : Bio-indication – Pollution – Lichen – *Xanthoria parietina*

Laboratoires de recherche : Laboratoire de Mycologie, Biotechnologie et de l'Activité Microbienne (Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : Mme MIHOUBI Ilhem (Professeur - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : Mme ALATOU Radia (Professeur - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : Mme OULMI Lamia (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).