

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA -
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2017

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Eau Santé et Environnement

Présenté par :

AMROUNI Lynda & ZETCHI Zakaria

Thème

*Essai de contamination de Xanthoria parietina et
Rynchosygium ripariodes par la poussière émise par la
cimenterie de Sour El Ghoulane Bouira*

Soutenu le : 03/07/2017

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mme. IDIR T.

MAA

Univ. de Bouira

Président

Mme. MAIZI N.

MCB

Univ. de Bouira

Promoteur

Mme. TAFIFET L.

MAA

Univ. de Bouira

Examineur

Année Universitaire : 2016/2017



Remerciement

Nos remerciements vont d'abord à « Allah », le tout puissant pour ces grâces, pour nous avoir guidés et éclairés sur la bonne voie du savoir.

Nos remerciements vont également à :

Notre directrice de mémoire Mme MAI ZI Naila pour l'intéressant sujet qu'elle nous a proposé, pour son soutien, sa disponibilité, son assistance, ses aides précieuses, ses orientations et ses conseils.

Mr Bara M. pour nous avoir fait le grand honneur de présider le jury de soutenance.

Mme Tafifet L. d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs de notre cursus universitaire.

En particulier le chef de département de biologie et les membres de laboratoire de la Faculté des Sciences de la nature et de la Vie et des sciences de la Terre.

Nous voulons exprimer également notre reconnaissance et notre gratitude envers tous ceux qui nous ont aidés, encouragé afin d'élaborer ce travail

Merci a toutes



Dédicace

A Mon cher père que j'aime beaucoup et qui m'a toujours encouragé à avancer dans toutes mes décisions.

A Ma chère mère qui m'a toujours entouré d'affection et de son amour.

A Ma grand-mère « Tassadite »

A Mes sœurs « Noura » et « Sabrina » ainsi que mes frères « Abdel Hahim », « Bachir » et « Zahir ».

A Mes deux trésors, « Oussama » et « Chahine »

A Toute la famille « AMROUNI »

A toutes mes amies : « Naima, Aida, Sabah,
Sohila, Faiza
et Louiza ».

A mes enseignants et spécialement à ma promotrice

Et tous ceux qui me connaissent de près ou de loin

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :

A mes très chère parents pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué ; avec tous les moyens et au prix de toutes les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard,

A mes chers frères, « Anes, Rawan et Wail » et à ma sœur « Zahra »,

A tout la famille « Zetchi et Chergui » pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A tous mes chers amis ,

Pour les encouragements permanents, et leur soutien moral,

Merci d'être toujours là pour moi.

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Résumé de l'ensemble des paramètres et processus de pollution	01
02	Processus de dépôts des polluants	07
03	<i>Lepraria incana</i>	15
04	<i>Lecanora rupicol</i>	15
05	<i>Squamarina cartilaginea</i>	16
06	<i>Parmelia sulcata</i>	16
07	<i>Usnea filipendula</i>	16
08	<i>Cladonia cristatella</i>	17
09	<i>Collema subflaccidu</i>	17
10	Les grands groupes des bryophytes, Le sporophyte diploïde	24
11	Image des différentes classes des bryophytes	24
12	Cycle de vie d'une mousse	24
13	Cycle de reproduction d'une mousse	27
14	Situation du canton Errich	29
15	Variation spatio-temporelle de la pluviométrie dans la région de Bouira (1995- 2009)	31
16	Représentation des données thermiques de la région de Bouira sur une moyenne de 15 ans (1995 – 2009)	31
17	Variation de la vitesse moyenne des vents dans la région de Bouira (1995 – 2009).	32
18	Variation de l'humidité dans la région de Bouira (1995 – 2009).	33
19	<i>Rhynchostegium ripariodes</i>	34
20	Courbe d'étalonnage de la proline	40
21	Variation de la teneur en chlorophylle a, b et a+b en chez <i>Xanthoria parietina</i> .	43
22	Variation de la teneur en chlorophylle a, b et a+b en chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i> .	43

23	Variations de la teneur en proline chez <i>Xanthoria parietina</i>	44
24	Variations de la teneur en proline chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i> .	45
25	Variations du Rapport MF /MS chez <i>Xanthoria parietina</i>	46
26	variation temporelles du rapport MF/MS chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i>	46

Liste des photos

N°	Titre	Page
01	<i>Xanthoria parietina</i>	34
02	Observation macrocopique <i>de Xanthoria parietina</i> avant le traitement	42
03	Observation macrocopique <i>de Xanthoria parietina</i> après le traitement	42
04	Observation macrocopique <i>de Rhynchostegium ripariodes</i> avant le traitement	42
05	Observation macrocopique <i>de Rhynchostegium ripariodes</i> à la fin	42

Liste des tableaux

N°	Titre	page
01	Effets de la pollution atmosphérique sur la santé	10
02	Comparaison entre les lichens et végétaux supérieurs.	22
03	Les données climatologiques de la station de Bouira 1995-2009	58
04	Résultats relatifs à la variation de la teneur en chlorophylle chez <i>Xanthoria parietina</i> ($\mu\text{g/g}$).	58
05	Résultats relatifs à la variation de la teneur en proline chez <i>Xanthoria parietina</i> ($\mu\text{g/g}$).	59
06	Résultats relatifs à la variation du rapport MF/MS chez <i>Xanthoria parietina</i> .	59
07	Résultats relatifs à la variation de la teneur en chlorophylle chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i> ($\mu\text{g/g}$).	59
08	Résultats relatifs à la variation de la teneur en proline chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i> ($\mu\text{g/g}$)	59
09	Résultats relatifs à la variation du rapport MF /MS chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i> .	60

Liste des abréviations

As : Arsenic

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

CO : Monoxyde de carbone

CaCO₃ : Carbonate de calcium

CaO : Oxyde de calcium **CO₂** : Dioxyde de carbone

COV : Composés organiques volatils

NO₂ : Dioxyde d'azote

OMS : Organisation Mondiale de la santé

O₃ : L'ozone

% : Pourcentage

G : Gramme

µm : Micromètre

µg : Microgramme

Mg : Milligramme

Résumé

Le rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère constitue sans aucun doute la plus évidente des dégradations de l'environnement par l'homme. Pour mettre en évidence et/ou mesurer les conséquences de ces dégradations, l'utilisation des bioindicateurs végétales s'avère incontournable.

L'objectif de notre travail consiste en une étude toxicologique de la poussière émise par la cimenterie de Sour El Ghozlane sur deux espèces de végétaux inférieurs : les mousses (*Rhynchostegium riparioides*) et les lichens (*Xanthoria parietina*).

Nos espèces prélevées au niveau de la forêt « Errich », une région considérée comme non polluée ont bien subi une série des tests de contamination au laboratoire pendant un mois de traitement.

La toxicité de cette poussière est recherchée à travers l'observation morphologique ainsi que le dosage des paramètres biochimiques et physiologiques. Ces tests ont montré que les mousses et les lichens présentent des modifications biochimiques (proline) et physiologiques (Chlorophylles *a*, *b* et *a+b* et le rapport MF/MS).

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'impact de la poussière émise par la cimenterie de Sour El Ghozlane sur nos bioindicateurs utilisés.

Mots clés : mousses, lichens, poussière, pollution atmosphérique, toxicité, cimenterie.

ملخص

انبعاث مختلف المواد في الغلاف الجوي هو بلا شك تدهور الأكثر وضوحا للبيئة من قبل الانسان. لتسليط الضوء على و / أو قياس النتائج المترتبة على هذا التدهور، استخدام النباتات المؤشرات الحيوية يثبت لا مفر منه

الهدف من عملنا هو دراسة تأثير الغبار المنبعث من الاسمنت سور الغزلان على نوعين من النباتات الدنيا

الاشنة (*Xanthoria pareitina*) والطحالب (*Rhynchostegium riparioides*)

هذه الأنواع التي تم جمعها في غابة "الريش"، والمعروفة بمنطقة خالية من التلوث حيث خضع هذين النوعين لسلسلة من اختبارات تلوث على مستوى المختبر لمدة شهر من العلاج

تأثيرات الغبار لوحظ في مجموعة من التغيرات التشكيلية و القياسات البيوكيميائية و الفزيولوجية

وقد أظهرت هذه التجارب أن الطحالب والأشنات لها القدرة على التغيير المرفولوجي، البيوكيميائية (البرولين) والفزيولوجية (الكلوروفيل أ، ب، أ + ب) من خلال النتائج المتحصلة عليها في نهاية بحثنا .

كلمات البحث: الطحالب والأشنات والغبار وتلوث الهواء، وسمية والاسمنت

Abstract

The untimely rejection of various substances in the atmosphere is undoubtedly the most obvious of the degradations of the environment by the man. In order to highlight and / or measure the consequences of these degradations, the use of plant bioindicators is essential.

The objective of our work is a toxicological study of the dust emitted by the Sour El Ghozlane cement plant on two lower plant species: mosses (*Rhynchostegium riparioides*) and lichens (*Xanthoria parietina*).

Our species harvested from the "Errich" forest, a region considered to be unpolluted, have undergone a series of laboratory contamination tests during one month of treatment.

The toxicity of this dust is sought through morphological observation as well as the determination of biochemical and physiological parameters.

These tests showed that foams and lichens exhibited biochemical (proline) and physiological (Chlorophyll a, b and a + b and MF / MS) changes.

The results obtained highlighted the impact of the dust emitted by the Sour El Ghozlane cement plant on our bioindicators used.

Clefs words : Lichens –mosses –dust-cement-air pollution-toxicity.

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale1

Première partie

Chapitre I: Généralité sur la pollution atmosphérique et la biosurveillance.....3

I.2. Les sources de la pollution atmosphérique.....3

I.2.1. Pollution d'origine naturelle.....3

I.2.2. Pollution d'origine anthropique.....3

I.3. Les différents polluants atmosphériques.....4

I.3.1. Les polluants gazeux.....5

I.3.2. Les polluants particulaires.....6

I.4. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé.....7

I.4.1. A court terme.....8

I.4.2. A long terme.....9

I.5. Effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement.....9

I.5.1. Effets sur les matériaux.....9

I.5.2. Effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes d'eau.....10

I.5.3. Effets de la pollution atmosphérique sur la couche d'ozone.....10

I.5.4. Sur les végétaux.....10

1.5.4.1. Effets sur les végétaux supérieurs.....	10
1.5.4.2. Effets sur les végétaux inférieurs.....	10
Chapitre II: Généralité sur la biosurveillance.....	12
II.1. Généralité sur la biosurveillance.....	13
II.1.1.La biosurveillance sensible.....	13
II.1.2. La bio surveillance par accumulation.....	14
II.2. Les lichens.....	14
II.2.1. Généralités.....	14
II.2.2. La morphologie du thalle lichénique.....	14
II.2.3. Structure du thalle lichénique.....	18
II.2.3.2. Structure hétéromère.....	18
II.2.4. Reproduction des lichens.....	18
II.2.5. Ecologie des lichens.....	19
II.2.5.1. Les facteurs substratiques.....	19
II.2.5.2. Les facteurs climatiques.....	19
II.2.6. Les propriétés des lichens.....	19
II.2.7. Intérêt des lichens.....	21
III.I.2.8 Utilisation des lichens comme témoins de la pollution.....	22
I.2.7. Intérêt des lichens.....	21
II.2.8.1. Caractères particuliers des lichens justifiant leur choix comme bioindicateurs.	22
II.3. Les bryophytes.....	22
II.3.2. Caractères généraux des bryophytes.....	23
II.3.3. Caractères des différentes classes des bryophytes.....	23

II.3.3.1. Classe des Hépatiques.....	23
II.3.3.2. Classe des Anthocérotes.....	23
II.3.3.3. Classe des Muscinées.....	23
II.3.4. Morphologie des mousses.....	23
II.3.5. Cycle de reproduction des Mousses.....	24
II.3.5.1. Reproduction sexuée	24
II.3.5.2. Multiplication végétative.....	26
II.3.6. Habitat et répartition géographique des mousses.....	27
II.3.7. Rôle et intérêt des mousses.....	27
II.3.8. Utilisation des mousses comme bioindicateurs de pollution.....	28

Deuxième partie

Matériels et méthodes

Chapitre I: Présentation de la région D'échantillonnage.....	29
I.1. Localisation géographique.....	29
I.2. Caractéristiques physiques.....	29
I.2.1. Le relief (topographie et sol).....	29
I.2.2. Hydrographie.....	30
I.2.3. Infrastructures existantes.....	30
I.2.4. Le climat.....	30
I.2.4.1. Les précipitations.....	31
I.2.4.2. Les températures.....	31
I.2.4.3. Les vents.....	32
I.2.4.4. L'humidité.....	32

I.2.5. Contexte botanique.....	33
Chapitre II: Protocole expérimental.....	34
II.1. Matériel biologique échantillonné.....	34
II.1.1. Choix de l'espèce lichénique.....	34
II.1.2. Description.....	35
II.1.3. Intérêt de <i>Xanthoria parietina</i>	35
II.2.1. Choix de l'espèce muscicole.....	35
II.2.2. Description.....	36
II.3. Technique de prélèvement.....	37
Chapitre III: Mise en place de l'essai.....	38
III.1. Essai de contamination des espèces.....	38
III.2. Techniques analytiques.....	38
III.2.1. Dosage de la chlorophylle.....	38
III.2.2. Dosage de la proline.....	39
III.2.2.1. Extraction de la proline.....	39
III.2.2.2. Réalisation du courbe étalon.....	41
Partie III	
Résultats obtenus et discussion	
I. Observation morphologique.....	41
1.1. Chez <i>Xanthoria parietina</i>	41
1.2. Chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i>	41
II. Résultats relatifs aux dosages de la chlorophylle.....	43
II.1: Variation de la teneur en chlorophylle chez <i>Xanthoria parietina</i>.....	43

II.2: Variation de la teneur en chlorophylle chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i>.....	43
III. Résultats relatifs aux dosages de la proline.....	44
III.1: Variation de la teneur en proline chez <i>Xanthoria parietina</i>.....	44
III.2: Variation de la teneur en proline chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i>.....	45
IV. Résultats relatifs au rapport MF/MS.....	46
IV.1. Variation du rapport MF/MS chez <i>Xanthoria parietina</i>.....	46
IV.2. Variation du rapport MF/MS chez <i>Rhynchostegium ripariodes</i>.....	46
Conclusion générale.....	48
Références Bibliographique.....	51
Annexes	58

Introduction général

Depuis le début du siècle dernier, les émissions anthropiques vers le compartiment atmosphérique se sont intensifiées et diversifiées. De nombreux éléments chimiques sont suspectés d'impacter durablement notre environnement en dérégulant les grands cycles biogéochimiques (Pédro, 2007).

La complexité de la pollution atmosphérique réside dans les sources variées – naturelles et anthropiques – plus ou moins établies, qu'elles soient ponctuelles ou diffuses. L'atmosphère constitue une machine chimique avec une grande réactivité entre les différents constituants. De plus, la dispersion atmosphérique permet de transporter les contaminants des sites locaux jusqu'aux régions les plus reculées via le transport longue distance (Garty, 2001).

Les directives mondiales sur la réduction des rejets industriels et domestiques ont suscité la recherche de nouveaux produits et de nouveaux procédés plus respectueux pour l'écosystème. Ainsi, la lutte contre la pollution de l'air ne s'occupe plus uniquement des produits de simple oxydation des combustibles classiques ; puisque les effluents industriels déversés dans l'atmosphère sont de plus en plus abondants, variés et complexes, et les divers facteurs tels que ; le développement de l'industrialisation et l'augmentation de densité des populations exposées aux polluants atmosphériques, accroissent rapidement la gravité de la situation et compliquent progressivement l'application des mesures efficaces. La pollution de l'air est peut-être la plus dissimulée et la plus difficile à combattre.

L'activité industrielle crée des polluants très variés : ceux-ci sont constitués, de manière générale, de produits faisant l'objet d'une fabrication, ou de produits primaires ou intermédiaires de cette dernière, ou encore de produits de décomposition des produits précités. Ces émissions peuvent être continues ou discontinues. A titre d'exemple, on peut citer : Les cimenteries.

La pollution atmosphérique et spécialement celle émise par les cimenteries est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Le ciment est lui-même un élément polluant malgré sa nécessité absolue pour la vie sociale et économique, et la grande importance que lui accorde le monde entier.

Dans notre étude, on s'intéresse à étudier les retombées particulières et gazeux dans la région de Sour El Ghozlane, particulièrement aux alentours de la cimenterie de "Sour El Ghozlane".

Le ciment est fabriqué à partir de matières premières ; calcaire et argile, extraits des carrières proches de celles-ci. Les matières premières sont préparées et homogénéisées sous forme soit de pâte liquide, soit de poudre sèche selon le procédé employé: voie sèche ou voie humide.

Le produit est clinkérisé dans des fours de très grandes dimensions ; le clinker est ensuite broyé avec des matières d'ajouts : gypse, laitier hydraulique,...etc., variant avec la qualité du ciment fabriqué. Pour produire une tonne de ciment, quelque 2,8 tonnes de matières premières et de clinker doivent être réduites à l'état de poussière; cette transformation est un des facteurs de pollution (Rebouh, 2012).

Les niveaux de cette pollution dans l'air et au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants.

La qualité de l'air peut être contrôlée par la mesure de polluants directement dans l'air, malheureusement les appareils classiques d'analyse ont un coût d'investissement et d'utilisation élevé, ce qui a pour conséquence une faible représentativité de ces outils surtout à l'échelle globale puisque non utilisés dans certains pays ; où on fait appel à la biosurveillance (ensemble de méthodes fondées sur l'observation des altérations fonctionnelles d'êtres vivants) (Markert *et al.*, 2003). Développée à partir des années 1960, la biosurveillance végétale de la qualité de l'air présente une alternative intéressante à l'utilisation d'appareils de mesure (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

Les végétaux sont des outils de grand intérêt pour la biosurveillance. Leur diversité offre un large éventail d'organismes utilisables : bryophytes, lichens, plantes supérieures (plantes herbacées, feuilles et écorces des arbres...) qui sont employés spécifiquement ou non pour détecter un grand nombre de polluants (ozone, oxydes d'azote, métaux lourds, poussières, pesticides...).

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail de recherche est d'étudier la pertinence de l'utilisation des lichens et des mousses comme outils pour la biosurveillance des retombées atmosphériques de la cimenterie de Sour El Ghazlane; ainsi que, l'influence de la poussière émise par cette dernière sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques des espèces étudiées à travers des tests de contamination au laboratoire.

Le manuscrit est ainsi articulé autour de trois parties.

- ✚ Une première partie consacrée à une synthèse bibliographique concernant la pollution atmosphérique, les différentes méthodes de biosurveillance, les lichens et les mousses.
- ✚ Une deuxième partie a été réservée à la présentation du site d'échantillonnage ainsi qu'à la description de notre protocole expérimental avec toutes les techniques analytiques employées.
- ✚ La dernière partie est consacrée aux résultats obtenus et leur discussion.

Enfin, nous avons terminé avec une conclusion et les perspectives suggérées.

Chapitre I

La pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique, La pollution est définie par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant « la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière générale ». La pollution de l'air est définie aussi comme la résultante de multiples facteurs : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc. » (**Pacyna, 1984 ; Pacyna et Graedel, 1995**).

I.2. Les sources de la pollution atmosphérique :

Pour mieux connaître la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé et les écosystèmes (**Lacour, 2001**).

I.2.1. Pollution d'origine naturelle :

Les polluants que l'on retrouve dans l'atmosphère peuvent être d'origine naturelle tel que : les dégagements des volcans, les émissions par la végétation, l'érosion du sol et les océans.

I.2.2. Pollution d'origine anthropique :

On peut dire que la quasi totalité des activités humaines est une source de pollution de l'air, qui apparaît essentiellement sous deux formes de substances polluantes :

- Gazeuse : présence de gaz nouveaux ou augmentation de la proportion d'un gaz existant naturellement.

- Solide : mise en suspension de particules (poussière, fumées). On estime que les gaz représentent 90 % des masses globales de polluants rejetées dans l'air et les particules les 10% restants. (EEA., 1998).

Les principales sources sont les installations de combustion et les procédés industriels (tels que extractions de minéraux, cimenterie, aciérie, fonderie, verrerie, plâtrière, chimie fine), domestiques (chauffage en particulier), l'agriculture et la production d'énergie thermique.

- Les émissions de poussière ont très fortement diminué depuis 20 ans. Les particules solides servent de vecteurs à différentes substances toxiques voire cancérigènes ou mutagènes (métaux lourds, HAP,...) et restent de ce fait un sujet important de préoccupation (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphériques, 2010) .Ce phénomène de pollution atmosphérique reste donc complexe et ce schéma résume l'ensemble des paramètres et processus qui y concourent.

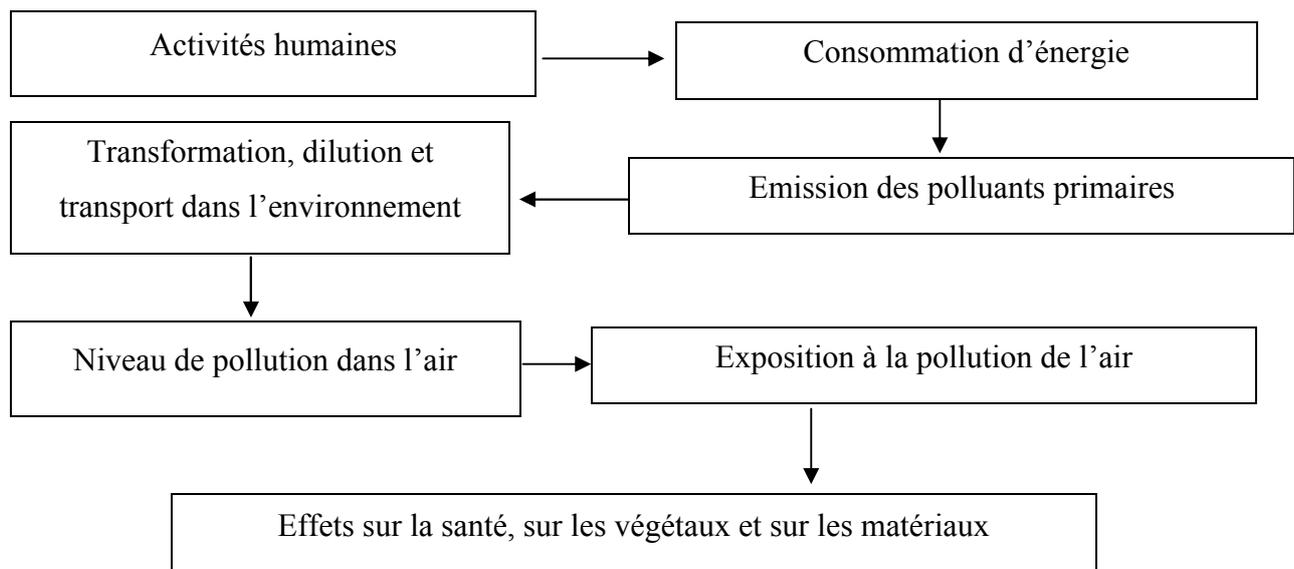


Figure 01 : Résumé de l'ensemble des paramètres et processus de pollution (Thibaut, 1998)

I.3. Les différents polluants atmosphériques :

Il existe un grand nombre de polluants atmosphériques, ces derniers peuvent être classés en deux grands groupes : les effluents gazeux et les particules.

I.3.1. Les polluants gazeux :

Quatre gaz sont les principaux responsables de la pollution :

- **L'ozone (O₃)** : La couche d'ozone, située à haute altitude dans la stratosphère à 30 km au-dessus du sol, est vitale car elle filtre les rayons ultraviolets. C'est le bon ozone.

Le mauvais ozone se trouve dans la basse atmosphère : la troposphère située entre le sol et 15 km d'altitude. C'est alors un polluant issu de transformations chimiques dans l'air entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (solvants...). Ces réactions sont fortement stimulées par le rayonnement solaire. L'ozone a des effets sur la santé, les végétaux, les matériaux et le climat (c'est un gaz à effet de serre).

- **Le dioxyde d'azote (NO₂)** : Le dioxyde d'azote est un composé chimique de formule NO₂. Il s'agit d'un gaz brun-rouge toxique suffocant à l'odeur âcre et piquante caractéristique.

Le NO₂ transformé en acide nitrique et en nitrate. Ces composés se déposeront alors sous forme de pluies acides ou de dépôts secs.

A la lumière solaire, le NO₂ peut également se scinder en NO et en oxygène atomique (O), qui réagira alors avec l'oxygène de l'air pour donner de l'ozone (O₃). Comme l'ozone réoxyde le NO, il s'ensuit un équilibre entre les diverses réactions C'est un précurseur de la production industrielle de l'acide nitrique HNO₃ et un polluant majeur de l'atmosphère terrestre produit par les moteurs à combustion interne et les centrales thermiques ; il est responsable à ce titre de la présence d'acide nitrique dans les pluies acides, où ce dernier se forme par hydratation du NO₂.

Ce polluant est émis par des sources comme transport routier

- **Le dioxyde de soufre (SO₂)** : est un gaz incolore, d'odeur piquante très irritante, plus lourd que l'air. Il est hydrosoluble et donne par réaction avec la vapeur d'eau l'acide sulfurique. Le SO₂ ou anhydride sulfureux est le plus abondant des composés soufrés. Il provient de la combustion des combustibles fossiles (charbons, fiouls) au cours de laquelle les impuretés soufrées sont oxydées par l'oxygène de l'air en SO₂. Ce polluant est émis par des sources mobiles et des procédés industriels (fabrication de l'acide sulfurique et des plastiques, raffinage du pétrole, grillage et frittage de minerais sulfureux tels que blende, galène, pyrites) Globalement, on peut considérer que la production thermique est le principal responsable des émissions de dioxyde de soufre dans l'atmosphère.

- **Le monoxyde de carbone (CO)** : C'est un gaz combustible, détonnant à faible concentration, particulièrement sournois, toxique et très dangereux par ses effets irréversibles

détruit les cellules nerveuses de façon irrémédiable pouvant être mortel suivant la concentration et l'activité soutenue durant le temps d'inhalation. Ce polluant est émis par des sources résidentielles et industrie.

I.3.2. Les polluants particuliers

Le terme "particules" est une expression générique qui désigne des polluants dont les propriétés physico-chimiques sont différentes. Ce terme se rapporte, en quelque sorte, à la "taille" des polluants plus qu'à leur nature. Sauf les particules fibreuses (exemple : l'amiante).

- **Les particules respirables** (aussi appelées particules fines ou ultrafines) désignent un mélange hétérogène de particules solides et liquides en suspension dans l'air. Elles sont classées en deux catégories selon leur grosseur plutôt que leur composition. Plus elles sont petites, plus elles peuvent être toxiques parce qu'elles pénètrent alors plus profondément dans le système respiratoire et peuvent même atteindre le système cardiovasculaire. On les nomme communément PM, l'abréviation du terme anglais particulate matter, qui désigne poussière en français. On a :

- PM10 (d'un diamètre inférieur à 10 micromètres). À noter qu'un cheveu humain est de 50 à 150 micromètres de diamètre.

- PM 2,5 (moins de 2,5 micromètres) les plus toxiques. D'après les experts, il est relativement difficile de savoir quel polluant en particulier peut être responsable d'un problème spécifique de santé. En effet, la plupart du temps, les polluants, peu importe leur provenance, se présentent sous la forme d'un cocktail composé de nombreux éléments qui agiraient en synergie. Ainsi, les études épidémiologiques portent souvent sur les différents effets néfastes d'une pollution « combinée ». On estime généralement l'intensité de cette pollution en évaluant la concentration d'un ou de deux des polluants principaux, qui servent alors de marqueurs, plutôt que de mesurer systématiquement chacun des éléments.

- **Les métaux lourds** : Les métaux sont des minéraux. Les métaux "lourds" sont ainsi qualifiés du fait de leur densité élevée. Les principaux métaux lourds sont (le plomb, le cadmium, le mercure, l'arsenic, le chrome et le nickel). Ils sont dangereux pour l'environnement car ils ne sont pas dégradables. Les métaux lourds ont diverses origines : les roches du sol (arsenic, plomb...), la pollution atmosphérique (plomb, cadmium...), les engrais (cadmium, plomb, arsenic...), les boues urbaines (mercure, plomb, cadmium...). Les métaux lourds peuvent être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus.

- **Les composés organiques volatils (COV)** : Les composés organiques volatils ou les COV sont des produits chimiques organiques qui se vaporisent facilement à la température ambiante. Ils s'appellent organiques parce qu'ils contiennent l'élément carbone dans leurs structures moléculaires. La famille des COV regroupe plusieurs milliers de composés (hydrocarbures, solvants, ...). Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère et participent donc au réchauffement de la planète, entrent dans la composition des carburants et de nombreux produits courants : peintures, encres, colles, détachants, cosmétiques, solvants...pour des usages ménagers. Ils sont émis lors de la combustion de combustibles (notamment dans les gaz d'échappement), ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. Les COV sont émis également par le milieu naturel (végétation méditerranéenne par exemple) et certaines aires cultivées. Ils ont un impact direct sur la santé (certains sont toxiques ou cancérogènes) (**Ramade, 2000**).

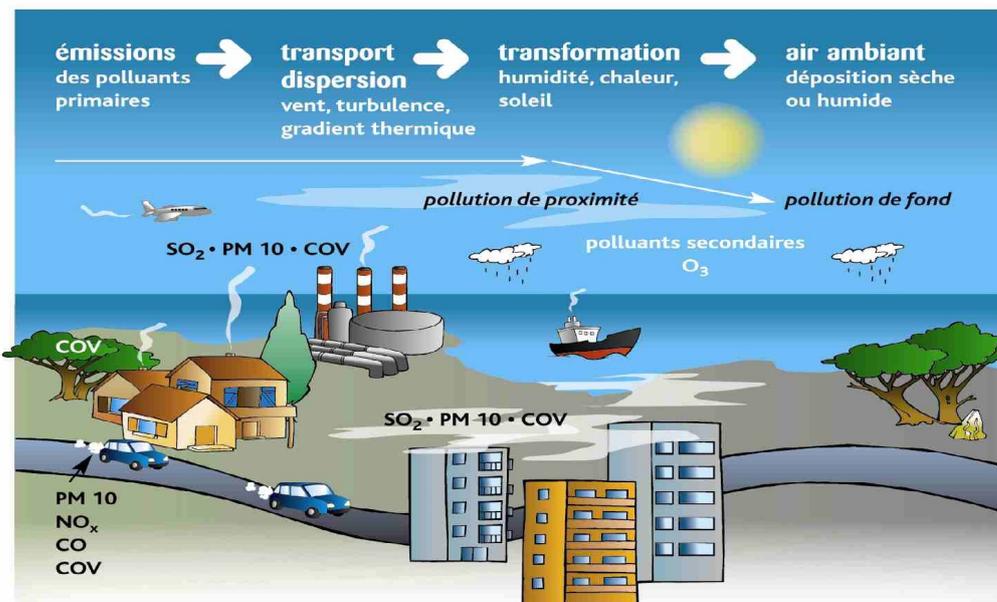


Figure 02 : Processus de dépôts des polluants (Martin et Maystre, 1988)

I.4. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé :

Les polluants peuvent agir à différents niveaux du corps humain :

- Au niveau de la peau : c'est le cas notamment des vapeurs irritantes et des phénomènes d'allergies,
- Au niveau des muqueuses.

- Au niveau des alvéoles pulmonaires. : Les polluants se dissolvent et passent dans le sang ou dans les liquides superficiels, et au niveau des organes - Certains toxiques véhiculés par le sang peuvent s'accumuler dans des organes.

Les polluants peuvent être de différentes natures. Il peut s'agir de gaz ou de particules ayant des propriétés irritantes pour l'appareil respiratoire. Les conséquences vont d'une baisse de la capacité respiratoire à une incidence sur la mortalité à plus ou moins long terme.

Tableaux 01 : Effets de la pollution atmosphérique sur la santé.

I.4.1. A court terme :

Polluants	Effets sur la santé
Dioxyde d'azote (NO ₂)	<ul style="list-style-type: none">- Gaz irritant pouvant pénétrer profondément dans les poumons. Il altère l'activité respiratoire et augmente les crises chez les asthmatiques.- Chez les plus jeunes, il favorise des infections microbiennes des bronches. Les effets de ce polluant ne sont pas tous identifiés. Il est un bon indicateur de la pollution automobile.
Ozone (O ₃)	<ul style="list-style-type: none">-Gaz agressif, fortement irritant pour les muqueuses oculaires et respiratoires. Il pénètre aisément jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il peut ainsi entraîner des irritations du nez, des yeux et de la gorge, des altérations de la fonction pulmonaire, des essoufflements et des toux. Il exacerbe les crises d'asthme.
Dioxyde de soufre (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none">-Gaz irritant pouvant entraîner des crises chez les asthmatiques, augmenter les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte et l'enfant : gêne respiratoire, accès de toux ou crises d'asthme.

Particules suspension	en	<p>-Les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus dangereuses sont les plus fines, car elles peuvent pénétrer profondément dans les poumons et transporter des composés toxiques.</p> <p>-Elles augmentent le risque d'infections respiratoires aiguës chez l'enfant et renforcent des sensibilités allergiques ou des pathologies préexistantes.</p> <p>-Une grande partie de cette pollution vient des transports. Les émissions des moteurs diesels sont particulièrement riches en particules de petites tailles. De plus, certaines particules en suspension contiennent des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) aux propriétés mutagènes et cancérigènes</p>
Monoxyde de carbone (CO)	de	<p>-A fortes doses, il est un toxique cardio-respiratoire souvent mortel ; A faibles doses, il diminue la capacité d'oxygénation du cerveau, du cœur et des muscles. Sa nocivité est particulièrement importante chez les insuffisants coronariens et les fœtus.</p>

I.4.2. A long terme :

Les effets à long terme restent mal connus car difficiles à évaluer. Cependant, certaines études américaines comparant les indices de mortalité des villes ayant la meilleure qualité d'air avec les plus polluées semblent confirmer l'action néfaste de la pollution (OMS, 2000).

I.5. Effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement :

I.5.1. Effets sur les matériaux :

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments. La pollution atmosphérique induit de la corrosion due au dioxyde de soufre, des noircissements et encroûtements des bâtiments par les

poussières issues en grande partie de la combustion des produits pétroliers, ainsi que des altérations diverses en association avec le gel, l'humidité et les micro-organismes.

I.5.2. Effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes d'eau :

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. La baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement dans le sol, comme l'aluminium toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes.

I.5.3. Effets de la pollution atmosphérique sur la couche d'ozone :

La couche d'ozone La diminution de la couche d'ozone représente un redoutable problème environnemental. L'amincissement de cette couche protectrice accroît, à la surface de la Terre, le rayonnement des ultraviolets causant les coups de soleil. Il a été prouvé que l'exposition à ces rayons ultraviolets a des effets importants sur notre environnement. Elle peut causer la détérioration de l'écosystème aquatique, réduire le rendement des cultures agricoles et être néfaste pour les forêts. L'exposition aux rayons UV est nuisible pour la santé humaine car elle endommage les yeux, elle diminue l'efficacité de notre système de défense immunitaire et peut provoquer l'apparition du cancer de la peau (**Kalaora, 1998**).

I.5.4. Sur les végétaux :

1.5.4.1. Effets sur les végétaux supérieurs :

De fortes concentrations de certains polluants peuvent conduire à des nécroses visibles sur les plantes. La pollution de l'air peut également entraîner une réduction de la croissance des plantes, même sans dommages visibles (par exemple l'ozone peut provoquer une baisse de la production agricole de céréales comme le blé ou une résistance amoindrie des plantes à certains agents infectieux. Aussi les phénomènes de pluies acides qui, en liaison avec d'autres facteurs (sécheresse, parasites...) entraînent le dépérissement des forêts et la dégradation des sols. Le dioxyde de soufre (formation d'acide sulfurique) et l'oxyde d'azote (formation d'acide nitrique) sont liés directement à la formation des pluies acides tandis que l'ozone altère la physiologie des arbres forestiers.

1.5.4.2. Effets sur les végétaux inférieurs :

➤ Sur les bryophytes :

Les bryophytes, et les mousses en particulier tirent l'essentiel de leur nourriture de l'air et des nutriments apportés par l'eau, par la pluie ou les dépôts de particules et aérosols. De nombreuses bryophytes sont vulnérables à l'acidification de l'air, à sa pollution et l'eutrophisation des milieux.

Elles jouent à ce titre un rôle important dans l'épuration de l'air, mais aussi en matière d'accumulation de certains polluants (métaux lourds et radionucléides notamment). Ce sont aussi des organismes pionniers important dans les processus de résilience écologique.

➤ **Sur les lichens :**

L'influence de la qualité de l'air sur la flore lichénique est un facteur écologique primordial sur leur développement, à la grande différence des plantes supérieures qui se nourrissent d'oligoéléments présents dans la terre, et s'y réfugient en hiver. Ainsi les lichens stockent toutes ces microparticules (plomb, fluor, métaux lourds, radioactivité...) et grâce à leur longévité remarquable, puisqu'ils peuvent être plus que centenaires, ils sont considérés comme d'excellents bioaccumulateurs. Ces particularités et surtout leurs sensibilités différentes suivant les espèces sont à l'origine de méthodes d'évaluation de la pollution. Deux de ces méthodes sont très utilisées. Celle élaborée en 1970 par Hawksworth et Rose, qui détermine, à partir de 80 lichens corticoles, 10 zones de qualité d'air. Et en 1986 Van-Haluwyn et Lerond délimitent 7 zones de pollutions (d'A à G) établies sur la reconnaissance d'une trentaine d'espèces de lichens. Ces techniques sont basées sur la pollution acide en dioxyde de soufre (SO₂), provenant essentiellement de l'activité humaine. Les lichens pris en compte disparaissent à des taux plus ou moins importants de SO₂. En fonction de leur présence ou absence, de leur croissance et de leur développement, de leur abondance en quantité et en espèces, ces bioindicateurs nous renseignent sur le degré de pollution des zones étudiées. Pour information, aucun lichen ne se développe quand la concentration en SO₂ est supérieure à 150 µg/m³ d'air. On ne trouve plus alors que des algues comme *Pleurococcus viridis* et encore limitées à la base des troncs, et cette algue disparaît quand SO₂ > 170 µg/m³. Le *Xanthoria parietina* est un exemple de lichen nitrophile (NO₂) et toxitolérant au soufre (SO₂). Nitrophile qualifie une espèce qui préfère ou exige des teneurs en azote très importantes, nitrate généralement, dont l'origine est souvent humaine par le biais de l'agriculture (engrais), de l'urbanisation, de l'industrie, des combustions et du trafic automobile... Mais peut provenir aussi de déjections et cadavres d'animaux, de débris végétaux etc. Il ne disparaît qu'à une concentration importante de dioxyde de soufre soit

$\text{SO}_2 \geq 70 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Très commun et facilement identifiable on le rencontre aux abords des villes et des prairies pâturées, principalement sur les troncs et branches de feuilles généralement en milieu ouvert et ensoleillé, plus rarement sur les conifères et autres substrats. Il est très utilisé en biosurveillance.

Quatre polluants font l'objet d'arrêtés préfectoraux, il s'agit, en plus du dioxyde de soufre SO_2 et du dioxyde d'azote NO_2 , de l'ozone O_3 et des particules PM_{10} . Bien que ces 4 formes de pollution de l'air soient intrinsèquement liées, les lichens ne sont directement sensibles qu'aux deux premiers. Ils ne permettent donc de réaliser qu'une étude partielle de la pollution atmosphérique. Les retombées de dioxyde de soufre, gros polluant dans les années 1900 avec l'utilisation du charbon sont beaucoup moins importantes aujourd'hui (pot catalytique, filtration des rejets de fumée...). Par contre la pollution par le dioxyde d'azote en perpétuelle augmentation serait très intéressante à étudier à travers les lichens nitrophiles. Ils métabolisent les composés azotés pour se développer et proliférer, mais disparaissent quand la concentration est trop élevée. Une échelle de 1 à 9 a été éditée par V. Wirth en 1991 pour mesurer le taux d'azote dans l'air « Indice de nitrophile de Wirth » (Gaci, 2014).

Chapitre II

Généralité sur la biosurveillance

II.1. Généralité sur la biosurveillance :

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

L'analyse directe des polluants émis par les sources de pollution est très onéreuse ; bien qu'indispensable en fournissant des données physico-chimiques quantifiées, elle ne permet pas de connaître l'impact sur le milieu vivant. Si connaître c'est mesurer, connaître la pollution, c'est effectivement mesurer les concentrations des polluants présents mais aussi en mesurer les effets. D'où la recherche de moyens de biosurveillance des effets des polluants émis par la pollution atmosphérique sur l'eau, le sol, l'atmosphère et les écosystèmes environnants. Le recours aux organismes vivants présente l'intérêt d'observer la vie sous ses différentes formes et permet de servir, dans les conditions de perturbation, de signal d'alarme **(Blandin, 1986)**.

La biosurveillance est définie comme : l'utilisation des réponses d'un ou plusieurs organismes à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) pour prévoir ou révéler une altération de l'environnement et pour suivre l'évolution.

Généralement, la biosurveillance se base sur deux principes :

II.1.1. La biosurveillance sensible : elle utilise des organismes qui répondent au stress causé par la pollution et utilise trois concepts :

➤ Le biomarqueur : au niveau infra-individuel ; c'est les altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles telles que la dégradation de l'activité enzymatique ou les modifications de la respiration, de la photosynthèse et des constituants cellulaires tel que la chlorophylle a et b et les protéines solubles.

- Le bioindicateur : au niveau individuel, c'est les altérations physiologiques, tissulaires ou morphologiques visibles telles que l'apparition de nécrose de plants de tabac exposés à l'ozone.
- Le biointégrateur : au niveau de la population ou de la communauté, comme la variation densitaire, présence/absence d'espèces. On a comme exemple le diagnostic éco-lichénique pour déterminer un indice de pureté atmosphérique.

II.1.2. La bio surveillance par accumulation ou les organismes utilisés ont la capacité de stocker les polluants dans leur tissu par des mécanismes de fixation ou de transfert, ils sont dits « les bioaccumulateurs ». Ces derniers servent ici de matrice de dosage de différents polluants (**Bernard et al, 2004**).

Enfin, la surveillance de la qualité de l'air peut faire appel à des végétaux supérieurs, tels que le chou et le tabac ou à des végétaux dits inférieurs, tels que les mousses et les lichens (**Giraudeau, 1999**).

II.2. Les Lichens :

II.2.1. Généralités :

Le terme de « lichen » est d'origine grecque et se trouve pour la première fois dans les écrits de Théophraste (IV^e siècle avant notre ère) qui désignent des plantes croissantes sur les troncs des arbres, auxquelles on attribuait à l'époque des vertus médicinales. Des Hépatiques étaient alors certainement confondus avec les lichens (**Ozenda et Clausade, 1970**). Ainsi appelle-t-on «Lichens», tous les végétaux présentant une individualité bien marquée qui résultent de la symbiose d'un eumycète ou un chlorophyte (**Ozenda et Clausade, 1970**).

Les Lichens ne constituent pas un groupe systématique comme les autres mais un groupe biologique réunissant un champignon le mycosymbiote, hétérotrophe (tributaire d'un autre être vivant pour son alimentation carbonée) et une algue, le phycosymbiote, autotrophe (capable de photosynthèse), les deux vivant en symbiose (**Nultsch, 1998**).

II.2.2. La morphologie du thalle lichénique

Les lichens sont inclus dans les Thallophytes, vaste ensemble de végétaux dépourvus de tiges, feuilles et racines et qui ne sont donc pas vascularisés. Leur thalle ou appareil végétatif présente une morphologie originale par rapport à celle des algues et des champignons qui le composent (**Van Haluwyn et Lerond, 1993**).

➤ **Thalle lépreux** : Association plus au moins cohérente de granules (0,1-0,2 mm) constitués chacun d'un peloton d'hyphes associées à quelques cellules algales. Les thalles lépreux, considérés comme primitifs, parviennent à constituer de grandes surfaces farineuses, surtout sur des substrats protégés des eaux de ruissellement et ombragés.



Figure 3 : *Lepraria incana* (Gaci ,2014)

➤ **Thalle crustacé** : Très adhérents au substrat, non séparables de celui-ci, sauf par petits fragments. La face inférieure du thalle n'est pas visible car elle est soudée ou même incorporée au substrat.

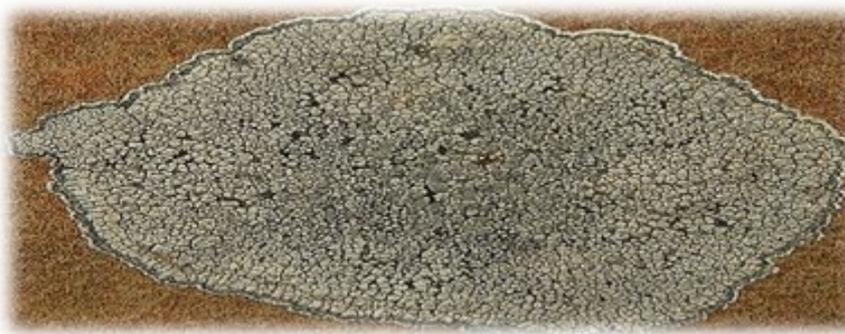


Figure 4 : *Lecanora rupicol* (Gaci ,2014)

➤ **Thalle squamuleux** : Thalles en petites squamules ou écailles rapprochées ou imbriquées à la manière des tuiles d'un toit et à bord n'adhérant pas au support. C'est une forme de transition entre thalle crustacé et thalle foliacé.



Figure 5 : *Squamarina cartilaginea*(Gaci ,2014)

- **Thalle foliacé :** Généralement en lame frisolée, assez aisément détachable du support auquel le fixent de fragiles rhizines. La face inférieure se distingue nettement de la face supérieure.



Figure 6 : *Parmelia sulcata*(Gaci ,2014)

- **Thalle fruticuleux :** un Thalle ramifié, buissonnant adhérent à l'écorce par surface réduite.



Figure 7 : *Usnea filipendula*(Gaci ,2014)

- **Thalle composite :** Il est constitué d'un thalle primaire et un thalle secondaire dressé.



Figure 8: *Cladonia cristatella*(Gaci ,2014)

➤ **Thalle gélatineux :** Ils sont formés de deux parties bien distinctes :

- Thalle primaire crustacé, squamuleux ou rarement foliacé,
- Thalle secondaire fruticuleux formé d'éléments se développant plus en moins perpendiculairement (Cladonia) au substrat (podétions (**Ramade, 1995**).



Figure 9 : *Collema subflaccidu*(Gaci ,2014)

II.2.3. Structure du thalle lichénique :

A L'intérieur du thalle lichénique, la disposition des différents constituants ne se fait pas au hasard mais suit des règles bien précises. Deux structures sont classiquement reconnues: homéomère et hétéromère.

II.2.3.1. Structure homéomère :

Elle est homogène dans toute l'épaisseur du thalle, cas des lichens gélatineux, principalement chez les Collema.

II.2.3.2. Structure hétéromère :

Elle révèle une stratification dans laquelle le mycobionte apparaît comme le constituant majeur, le photobionte restant en général localisé dans une seule zone, bien définie, du thalle. On distingue donc:

- Un cortex supérieur, une médulle et un cortex inférieur de nature fongique et une zone privilégiée occupée par le photobionte entre le cortex supérieur et la médulle (**Boulard, 1990**). Cependant, il existe deux types de structure hétéromère :

- **Structure radiée** : chez la plupart des lichens fruticuleux, elle est facilement identifiable sur une coupe transversale par sa couche algale (fermée) entourant la médulle et par la présence d'un seul cortex entourant la couche algale.
- **Structure stratifiée** : elle se rencontre chez la plupart des thalles foliacés, chez de rares lichens fruticuleux en lanières et quelques thalles crustacés. On observe sur une coupe transversale, un cortex supérieur, une couche algale, une médulle et un cortex inférieur qui peut donner naissance à des rhizines (**Clauzade et Roux, 1985**).

II.2.4. Reproduction des lichens :

Les Lichens peuvent se propager de deux manières :

- Par dissémination du complexe lichénique :

Le complexe lichénique peut se disséminer globalement, soit sous, la forme de fragments de thalle (les lichens, organismes reviviscents. peuvent subsister longtemps à l'état sec, ils sont alors très cassants et leurs débris dispersés par divers agents, vents, animaux, constituent autant de boutures) soit par formation des organes spéciaux qui contiennent à la fois le mycosymbiote et le photosymbiote. Parmi lesquels on cite :

Soralies : par les déchirures du thalle, il y a émission de "granules", les sorédies, formées d'un enchevêtrement d'algues et d'hyphes. Ces sorédies forment la soralie dont la couleur est généralement différente de celle du thalle. Légères, elles sont facilement transportées par le vent, la pluie, les insectes et permettent une dissémination.

Isidies : à sa surface, le thalle émet de petits bourgeons (sphériques, cylindriques, ramifiés...) contenant les algues et les hyphes. Recouverts par le cortex, ils sont en général de la même couleur que le thalle. Ces isidies, plus lourdes que les soralies, ne peuvent être transportées aussi loin, elles assurent plutôt une colonisation du substrat (**Ozenda et Clauzade, 1970**).

- Par production de spores par le champignon :

Soit par dissémination du champignon à l'aide de ses spores, qui peuvent après germination mettre les hyphes captant de nouvelles gonidies et entrant en symbiose avec elles, et reconstitue un nouveau lichen (**Ozenda et Clauzade, 1970**). C'est à dire, deux hyphes fongiques sexuellement différenciées fusionnent et donnent à la surface du thalle, des structures en forme de boutons (les apothécies), ou de coupes plus ou moins fermées (le

périthèces), dans lesquelles des cellules particulières (les asques) vont élaborer des ascospores (en général 8 spores par asque mais le nombre peut varier, et des mitoses post-miotiques permettent d'obtenir dans certains cas 32, 64,....ascospores, ou beaucoup moins) (**Ozenda, 2000**).

II.2.5. Ecologie des lichens :

Les lichens considérés dans leur ensemble constituent un groupe très plastique. Ils sont répandus sur toute la terre, et forment la dernière végétation qu'on rencontre vers les pôles et en altitude, à la limite des neiges et des glaces permanentes. Par contre, chaque espèce a ses exigences propres et sa répartition est tributaire des facteurs écologiques, facilement regroupés en trois ensembles : les facteurs substratiques, climatiques et biologiques.

II.2.5.1. Les facteurs substratiques :

Les lichens se développent dans des milieux très variés et sur des substrats naturels ou artificiels en fonction de leurs caractéristiques propres. Ils colonisent tous les substrats possibles : terre, écorces, bois, feuilles coriaces, rochers siliceux, ou calcaires, vieux murs, verre, métaux, os, carton ...ou autre lichen. Il n'y a guère que dans la mer que les lichens font défaut. Dans tous les cas, l'air pur leur est indispensable, l'atmosphère polluée des villes et des zones industrielles les font disparaître. La relation intime entre le lichen et le substrat s'établit en fonction des caractères physiques et chimiques de celui-ci. Les facteurs physiques et mécaniques concernent la dureté et l'hétérogénéité de la roche ou la structure histologique et la porosité des écorces. Ils conditionnent la pénétration du thalle dans le substrat et l'économie de l'eau. Les facteurs chimiques tiennent essentiellement au pH, à la réaction ionique et teneur en matière azoté. En plus de ces facteurs (physiques et chimiques), il est important de souligner que les lichens sont plus ou moins dépendants du substrat en fonction de leur morphologie. Cette dépendance va en décroissant des lichens incrustés vers les lichens fruticuleux en passant par les lichens foliacés.

II.2.5.2. Les facteurs climatiques :

L'atmosphère constitue un ensemble de facteurs écologiques tout à fait important par le fait que les lichens en tirent une partie de l'eau, le gaz carbonique et les sels minéraux apportés par la pluie ou le vent.

- L'eau :

Elle joue un rôle capital dans la répartition des lichens, notamment parce que le degré d'hydratation du thalle conditionne les fonctions vitales. Il existe en fait une relation étroite entre l'apport hydrique nécessaire à l'activité physiologique du lichen et la nature de son photosymbiote. Ainsi, de la vapeur d'eau suffit aux lichens à algues vertes alors qu'un apport liquide est nécessaire aux lichens à Cyanobactéries.

- L'humidité :

C'est le facteur principal, mais le lichen reçoit cette humidité de l'atmosphère (aérohygrophile) ou du substratum (substrat hygrophile). Au premier groupe appartiennent de très nombreux fruticuleux ; dans le second on trouvera beaucoup de foliacés, de crustacés à hypothalle épais, spongieux, mais également des fruticuleux poussant en touffes serrées et dont l'ensemble forme un petit massif spongieux et ménage aussi un microclimat.

- La température :

Les lichens supportent toutes les températures que l'on peut rencontrer dans les différentes régions du globe et il semble bien que ce soit par l'influence de la température sur l'humidité, beaucoup plus que par une action directe, que les espèces soient affectées par ce facteur. Aussi, il faut rappeler l'effet de la température sur l'intensité des fonctions métaboliques notamment la respiration et la photosynthèse (**Frey, 1970**).

Tableau 2 : Comparaison entre lichens et végétaux supérieurs (Schumacher et Hallet, 1997).

Les lichens	Les végétaux supérieurs
- L'eau et les minéraux proviennent exclusivement de l'air et de l'eau de pluie.	- L'eau et les sels minéraux, sont puisés dans le sol.
- Absence de système de régulation des entrées et des sorties.	- Les feuilles sont recouvertes d'une cuticule protectrice et imperméable, les stomates sont capables de se fermer à certains polluants.
- Actif toute l'année après la pluie.	- Pas d'activité hivernal
- Croissance lente.	- Croissance rapide.

II.2.6. Les propriétés des lichens :

- La capacité de résister à de très fortes dessiccations).
- L'exigence photophile, conséquence de la faible biomasse relative des cellules chlorophylliennes (**Hawksworth et Hill, 1984 ; Ozenda, 2000**).
- Peuvent vivre avec une teneur en eau de 2 %.
- La reviviscence, qui permet la colonisation de milieux à sécheresse temporaire, sans masquer pour autant la loi générale, valable pour les lichens aussi, de la plus grande richesse des stations et des climats humides.
- La reprise du métabolisme après une sécheresse est très rapide (5min) au maximum.
- La résistance aux basses températures, qui entraîne la richesse en lichens des montagnes et des régions nordiques.
- Les lichens sont dépourvus de système de contrôle des entrées et des sorties, ils n'ont pas de stomates pour contrôler les échanges avec l'atmosphère (**Deruelle et Lallement, 1938**).

II.2.7. Intérêt des lichens :

- Alimentaires: des cladonies ont été consommées, séchées et mélangées avec de la farine. (*Lecanora exelenta*)
- Médicament antitussif: on vend des sirops contre la toux contenant des lichens :
 - (*Lobaria pulmonaria*) qui soigne les affections pulmonaires.
 - (*Pertusaria albescens*) qui soigne la fièvre et les névralgies.
 - (*Peltigera canina*) qui soigne la rage.
 - (*Parmelia sulcata*) qui soigne les maux de tête.
- Teinture végétale. Cette utilisation était à la base d'une industrie florissante jusqu'au début du 20ème siècle. Les lichens utilisés donnaient des couleurs variées appelées orseilles. Notons que c'est d'un lichen qu'est extraite la "liqueur de Tournesol" permettant de voir si une solution est acide ou basique (*Ochrolechia parella*)
- Fixateur de parfum : des vernies sont encore ramassées actuellement pour alimenter les parfumeries à Grasse, la mousse des arbres (*Pseudevernia furfuracea*).
- Fabrication de produits moussants
- Pour la décoration, cette utilisation pose de gros problèmes d'atteinte à la biodiversité puisque de nombreuses récoltes de lichens sont effectuées afin d'alimenter les fleuristes, les architectes,...etc.
- Les lichens sont utilisés pour l'étude des polluants atmosphériques mais aussi de la radioactivité ou comme indicateurs de la présence de métaux lourds.

II.2.8. Utilisation des lichens comme témoins de la pollution :

II.2.8.1. Caractères particuliers des lichens justifiant leur choix comme bioindicateurs

Ce choix est justifié par :

- L'activité continue des lichens durant toute l'année (photosynthèse non interrompue) ce qui les rend capables d'accumuler les substances sur une longue période.
- Lors de la pollution, la productivité des lichens réduite et attribuée à une quantité faible de chlorophylle qu'il contient et ce qui limite leur pouvoir de récupération.
- Les lichens n'ont pas de racines ce que signifie que certaines espèces dépendent seulement de l'atmosphère qui est seule source des matières nutritives.
- Ils n'ont pas un système de contrôle des entrées et des sorties ni des stomates pour contrôler les échanges avec l'atmosphère.
- Lors de la sécheresse le lichen devient sec, inactif mais peut survivre jusqu'à la prochaine pluie pour devenir actif c'est le phénomène de reviviscence.
- Les lichens se différencient des végétaux supérieurs, ils ne possèdent pas les structures qui peuvent leur permettre de limiter les conséquences de la pollution atmosphérique (**Guezoul, 2002**).

II.3. Les bryophytes :

II.3.1. Généralités :

Les bryophytes : *bryo* « mousse » ; *phyte* « végétal », Ce sont des végétaux anciens, assez discrets et méconnus, faisant la transition évolutive entre les algues (toutes à thalle) et les végétaux vasculaires ou supérieurs (tous à tige typique), tels que les ptéridophytes (fougères et prêles) et les plantes à fleurs. Le nombre d'espèces que l'on peut rencontrer à travers le monde est de 25 000 sp.

Ce sont des plantes de petites tailles ; leur appareil végétatif dont la morphologie est assez variable présente une structure très simple puisqu'on n'y trouve ni racines (la fixation au sol est assurée par des fins filaments : les rhizoïdes qui permettent l'absorption de l'eau en la conduisant par capillarité jusqu'aux cellules vivantes de la plante qui l'absorbent), ni vaisseaux conducteurs de sève, ni fleurs ; elles forment donc parties des végétaux inférieurs (**Gantet, 1998**).

Elles poussent dans des milieux très divers et, contrairement aux idées reçues, pas nécessairement dans les endroits humides, capables de s'adapter à des conditions de

sécheresse extrême, mais généralement dans des milieux très humides, l'eau est toujours indispensable à la réalisation de leur cycle biologique, les gamètes males sont nageurs.

II.3.1. Caractères généraux des bryophytes :

Les bryophytes, appelées couramment « mousses », comprennent en réalité trois grands groupes d'organismes différents et bien distincts: les mousses (au sens strict), les hépatiques et les anthocérotes. Ce sont de petites plantes, dont la taille varie de quelques millimètres ou centimètres.

Elles possèdent des tiges grêles de quelques millimètres de diamètre, simple ou ramifiées, portant des feuilles petites, sessiles, insérées, suivant des angles de divergence variés, fixées au sol par de fins filaments qui ne sont pas de véritable racines, on les appelle les rhizoïdes.

II.3.2. Caractères des différentes classes des bryophytes :

Les bryophytes sont divisées en trois classes :

II.3.2.1. Classe des Hépatiques : elle se subdivise en quatre ordres Sphaérocarpales, les Metzgeriales, les Marchantiales et les Jungermanniales. Elles sont caractérisées par des rhizoïdes unicellulaires et non ramifiées, une tige feuille et une lame thalloïde, des feuilles sans nervure ; capsule sommitale s'ouvrant par 4 dents.

II.3.2.2. Classe des Anthocérotes : caractérisées par leur appareil végétatif thalloïde.

II.3.2.3. Classe des Muscinées : se distinguent par leur tige feuillée, Sporange a coulemelle, elle comprend trois ordres :

- ❖ **Les Bryales ou mousses :** ce sont des tiges feuillées, capsule sporangiale portée par un pédicelle bien développé, elles montrent une répartition très large, beaucoup d'entre elles sont cosmopolites.
- ❖ **Les Sphagnales :** avec un seul genre Sphagnum, localisé essentiellement dans les tourbières ou sur les sols acides très humides.
- ❖ **Les Andréales :** sont représentés par un seul genre qui forme de petits coussinets noirs sur les roches (**Maizi, 2006**).

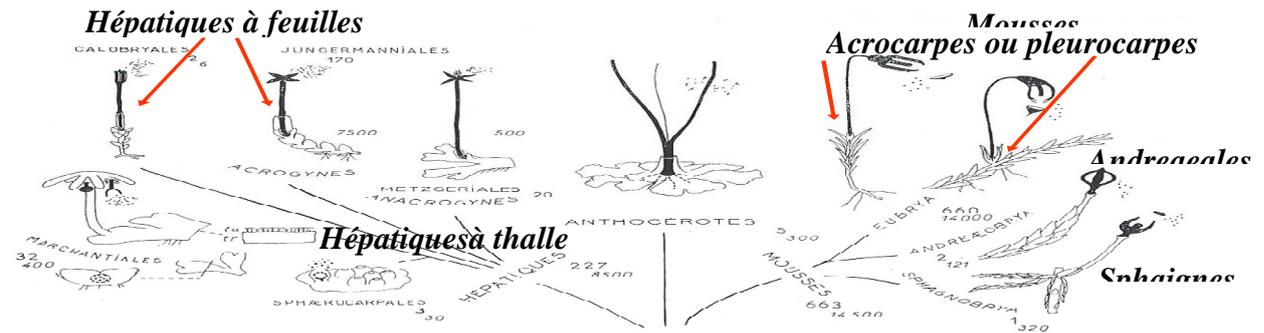
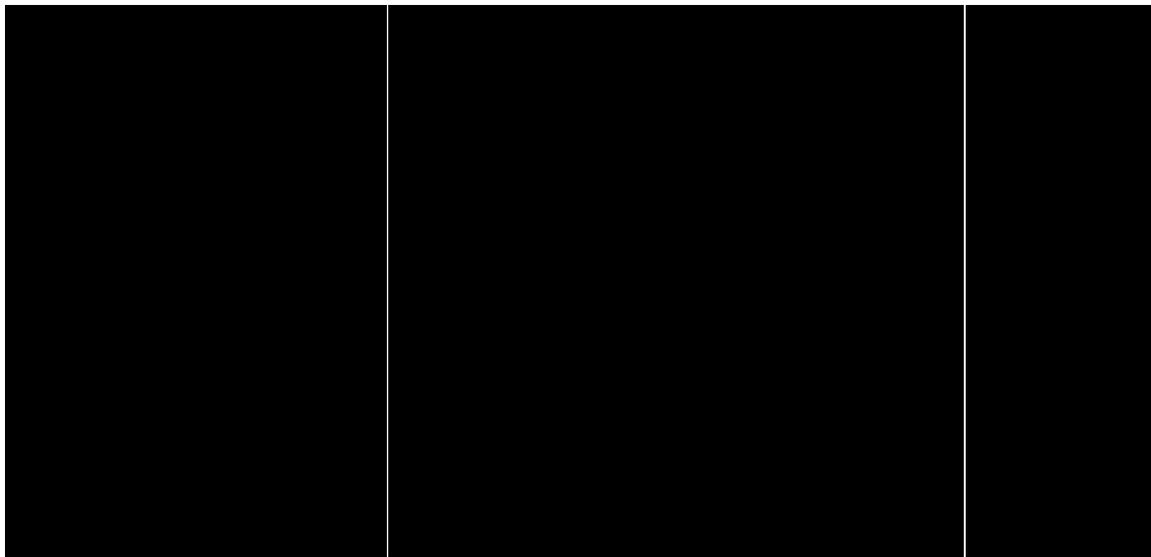


Figure 11 : Les grands groupes des bryophytes, Le sporophyte diploïde est représenté en gras (d'après Augier 1966).



Les Hépatiques

Les anthocérotes

Les mousses

Figure 12 : Image des différentes classes des bryophytes (Augier, 1966).

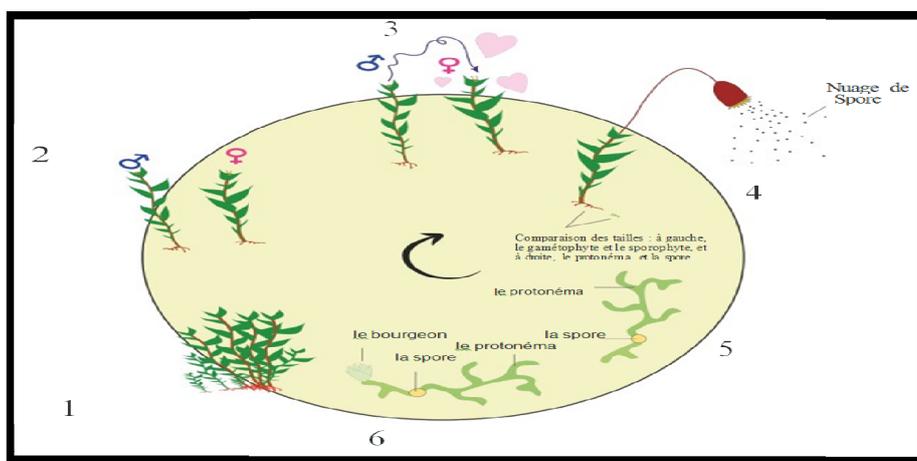


Figure 12 : Cycle de vie d'une mousse ((Gaci ,2014)

1. Sur le brin de mousse, on distingue des tiges et des feuilles, c'est ce que l'on appelle le gamétophyte. Il est visible tout au long de l'année.
2. Des organes mâles et femelles apparaissent, cachés entre les feuilles du brin. Toutefois, ils sont assez souvent entourés de feuilles particulières ce qui permet de les repérer.
3. Les cellules sexuelles mâles et femelles sont produites. A l'occasion d'une pluie, les spermatozoïdes nagent jusqu'à une cellule sexuelle femelle pour la féconder. Ensuite naîtra le sporophyte, l'organe qui portera les spores.
4. Le sporophyte, perché sur le gamétophyte, libère les spores qui sont disséminées par le vent. En général, il n'est visible qu'une partie de l'année.
5. Tombée au sol, la spore microscopique, donne naissance à un protonéma (structure en forme de filament ou de thalle, résultant de la germination d'une spore).
6. Sur le protonéma se développera bientôt un bourgeon, puis un nouveau gamétophyte. Le cycle peut alors recommencer.

II.3.3. Morphologie des mousses :

Les mousses possèdent toujours une tige et des feuilles. Celles-ci sont généralement insérées en spirale autour de la tige, mais parfois disposées sur un plan. Les mousses sont attachées au substrat par des petites racines appelées rhizoïdes. Celles-ci, contrairement aux véritables racines, ne pénètrent pas dans le substrat, elles permettent simplement à l'organisme de s'y accrocher.

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

Chez les bryophytes, une plante peut être séparée en deux parties bien distinctes : le gamétophyte (l'organe qui porte les gamètes) et le sporophyte (l'organe qui porte les spores).

Des structures spécialisées dans la conduction des produits de la photosynthèse (nommées *leptoid cells*) sont également présentes chez certaines espèces de mousses (**Goffinet et Shaw, 2009 ; Vanderpoorten et Goffinet, 2009**). Ces cellules possèdent une polarité cytoplasmique : le noyau et les organites sont concentrés d'un côté de la cellule et des microtubules qui s'étendent du noyau dans toute la cellule afin de faciliter la circulation des nutriments. Des plasmodesmes sont présents dans les parois obliques : ces prolongations de la membrane plasmique permettent la communication cytoplasmique intercellulaire (**Ligrone et al., 2000**).

D'autres parts les bryophytes n'ont pas de tissu ligneux de soutien développé comme les fougères ou les plantes à fleurs, cela implique qu'elles ont besoin d'humidité ambiante car il n'y a pas chez elles de transporteur d'eau et elles doivent donc en absorber par toute leur surface. L'eau leur est également nécessaire pour leur reproduction qui implique la nage des gamètes mâles (Nardin, 2000).

II.3.4. Cycle de reproduction des Mousses :

II.3.4.1. Reproduction sexuée :

Le cycle de reproduction des Bryophytes est haplodiplophasique à haplo phase dominante, présentant un sporophyte (diplophase) inféodé au gamétophyte (haplophase), ces deux caractères sont spécifiques du groupe.

La tige feuillée (ou le thalle) est la génération haploïde qui développe les organes reproducteurs (anthéridies contenant les anthérozoïdes et archégonas contenant l'oosphère).

La fécondation, dépendante de l'élément liquide (L'eau est un élément indispensable à la fécondation), engendre le développement du sporophyte, la génération diploïde. Ce sporophyte est constitué d'un pied, d'une soie et d'une capsule. A l'intérieur de la capsule, la réduction chromatique produit les spores haploïdes qui sont, à maturité, lors de la chute de la coiffe puis de l'opercule, libérés et dispersés par le péristome.

Quand les conditions climatiques le permettront, elles se développent par mitoses pour donner le protonéma jeune gamétophyte filamenteux, à partir duquel s'élabore le gamétophyte adulte, feuillé ou thalloïde selon l'espèce. À l'extrémité de ses axes, apparaîtront les gamétanges. Anthéridies et archégonas sont portés par la même plante ou par des plantes différentes qui différencieront les gamètes mâles des femelles (Maizi, 2006)

II.3.4.2. Multiplication végétative :

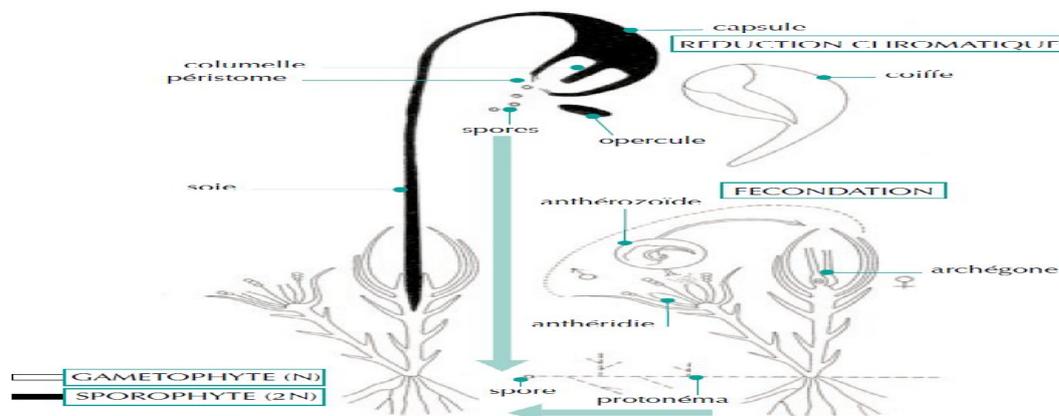


Figure 13: Cycle de reproduction d'une mousse : *Funaria hygrometrica* (Augier, 1966).

Ce cycle peut être écourté par la création de propagules (mode de multiplication et dissémination végétative), qui sont des massifs cellulaires peu différenciés ou des fragments d'individus, prenant naissance sur le gamétophyte et qui, lorsqu'ils se détachent, engendrent directement un autre gamétophyte, sans passer par la phase diploïde et le protonéma (particulièrement fragile et sensible aux conditions extérieures du fait de ses parois très fines).

II.3.5. Habitat et répartition géographique des mousses :

Grâce au vent et à la légèreté de leurs spores, les bryophytes se sont disséminées sur toute la planète. Ces plantes sont particulièrement abondantes et diversifiées dans les forêts humides, comme les forêts alpines, boréales, tempérées ou tropicales, ainsi que dans les milieux humides (tourbières). On trouve même des mousses dans des milieux aussi hostiles que les sommets des montagnes, la toundra arctique et antarctique et les déserts. Les mousses croissent dans des habitats très froids ou très secs grâce à leur tolérance à la dessiccation. En outre, les composés phénoliques contenus dans la paroi cellulaire des mousses absorbent les rayons ultraviolets et les autres rayonnements de courte longueur d'onde présents dans les déserts, en altitude et aux latitudes froides (**Campbell et Reece, 2002**).

En plus d'être présentes dans tous les habitats terrestres du globe, les mousses sont capables de croître sur une multiplicité de substrats : sols, roches, écorces, bois mort... Les mousses sont Ectohydriques, c'est-à-dire qu'elles absorbent l'eau par l'intégralité de leur surface. Ainsi, la présence de racines n'est pas nécessaire, ce qui leur permet de croître où les conditions de survie sont optimales. Les mousses s'adaptent à leur milieu grâce au développement de caractéristiques spécifiques et forment ainsi des niches écologiques, ce qui leur permet de survivre face à la sélection naturelle. On peut citer par exemple le cas des espèces épiphytes dont la croissance n'a lieu que sur les arbres.

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

Acrocarpe (170), pleurocarpes (73), sphaignes (1), presque toutes ces mousses appartiennent à la région méditerranéenne (**Maizi, 2006**).

II.3.6. Rôle et intérêt des mousses :

- Les mousses stabilisent le sol, en le protégeant du vent et de la pluie, et contrôlent sa température et son taux d'humidité.
- Les mousses pleurocarpes forment des tapis sur le sol et empêchent la germination des graines de plantes vasculaires et évite ainsi l'invasion d'espèces allochtones.

- Les mousses fournissent un milieu tamponné en température et humidité et constituent donc un bon abri pour les invertébrés.
- Les mousses sont utilisées comme bioindicateurs de la pollution de l'environnement (**Guezzol, 2002**).

II.9. Utilisation des mousses comme bioindicateurs de pollution :

Les mousses sont des petites plantes autotrophes, elles accumulent dans leur tissu des quantités importantes de métaux lourds, qu'elles prélèvent à partir de substrat ou de l'atmosphère ou de l'eau.

❖ Pollution de l'air :

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

❖ Pollution de l'eau :

Mouvet, 1983 a utilisé les mousses pour estimer la qualité des eaux du Rhin après l'accident de Sandoz. C'est la meilleure méthode pour la détection des métaux lourds par l'analyse des espèces hydrophiles comme les sphaignes.

Chapitre I

Présentation de la région d'échantillonnage

I.1. Localisation géographique

La forêt concernée par notre étude dénommée **canton Errich** fait partie de la forêt domaniale de Bouira, est située à quelques encablures de la ville du chef lieu de la wilaya (sur le coté Nord-Ouest) entre les latitudes ($36^{\circ}24'34,78''$) Nord et ($36^{\circ}23'49,10''$) Nord, et les longitudes ($3^{\circ}51'31,15''$) Est et ($3^{\circ}51'17,81''$) Est, d'une superficie de **547 Has** y compris la forêt récréative Errich. Elle est limitée au Nord par l'Oued Djemaa et le village Ouadhia, au Sud par des terrains agricoles et la ville de Bouira, à l'Est par des champs agricoles et le village Ben Mahdi et à l'Ouest par la forêt du canton Tikouka.



Figure 15: Situation du canton Errich (Google Earth,2017)

I.2. Caractéristiques physiques :

I.2.1. Le relief (topographie et sol) :

Le terrain du canton Errich est d'une topographie assez bonne, caractérisé par un relief non accidenté et moyennement accidenté avec une pente ne dépassant pas 12% et une altitude moyenne de 600 m.

Le substrat géologique du canton est constitué d'alluvions anciens de la plaine de Hamza donnant un sol argilo-sablonneux moyennement profond avec teneur en humus importante en raison d'une forte existence de la matière végétale.

I.2.2. Hydrographie :

La zone d'étude est sillonnée du nord au sud par trois Chaabets au bout desquelles, a la limite sud de la forêt deux retenues collinaires « Errich 01 et Errich 02 » d'une capacité de m³ ont été érigées, un Oued appelé Oued djemaa considéré comme limite naturelle nord de la forêt et deux sources naturelles permanentes aménagées en bassin de rétention d'une capacité de 40m³ chacun.

Ce réseau hydrographique est considéré comme faible et temporaire mais très actif surtout pour l'Oued Djemaa durant la période hivernale.

I.2.3. Infrastructures existantes :

La forêt d'Errich est parcourue par un réseau de pistes forestières assez conséquent et bien réparti pour sa meilleure desserte, sa gestion et sa préservation contre les infractions forestières et lutte contre les incendies.

Ce réseau compte 22,43 km de pistes forestières en très bon état et un tronçon de la route nationale n° 05 qui la traverse de l'Est à l'Ouest dans sa partie Nord sur une longueur de 1,80km, aussi on trouve au niveau de cette forêt à sa limite Sud la construction de trois brigades forestières habitées par le personnel technique assurant sa surveillance et sa protection. Toujours dans cet ordre d'idée, il est utile de signaler qu'une partie de cette forêt, 190Ha ont été proposés à la récréation et en cours d'exécution avec tous les équipements adéquats aux loisirs et à l'agrément.

I.2.4. Le climat :

La zone d'échantillonnage est située dans l'étage bioclimatique subhumide avec une tendance continentale, car la chaîne du Djurdjura et le massif kabyle amortissent l'influence de la méditerranée, et à saison hivernale irrégulièrement pluvieuse, et à saison estivale sèche et chaude.

Pour une étude climatologique de notre zone d'étude, nous nous sommes basés sur les données enregistrées dans la station de Bouira.

I.2.4.1. Les précipitations :

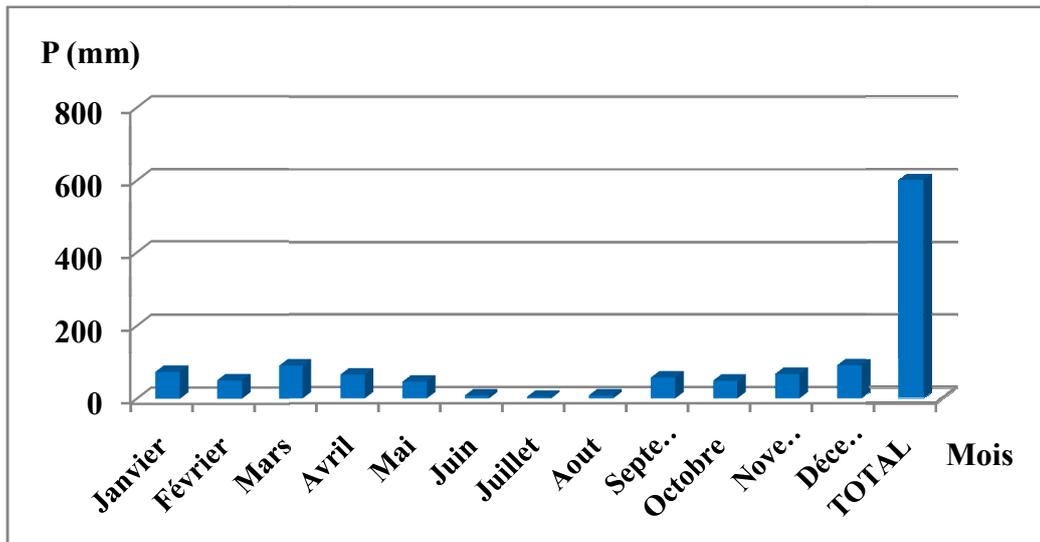


Figure 15: Variation spatio-temporelle de la pluviométrie dans la région de Bouira (1995- 2009).

La moyenne annuelle des pluies est de 600 mm, sachant que les mois de Mars et Décembre sont les mois les plus arrosés, et les mois de juillet et Aout sont les mois les plus faibles en précipitations. La période de sécheresse s'étend du mois de juin jusqu'à septembre.

I.2.4.2. Les températures :

Les paramètres thermiques mensuels sont la température maximale (M), température minimale (m), température moyenne ($M+m/2$)

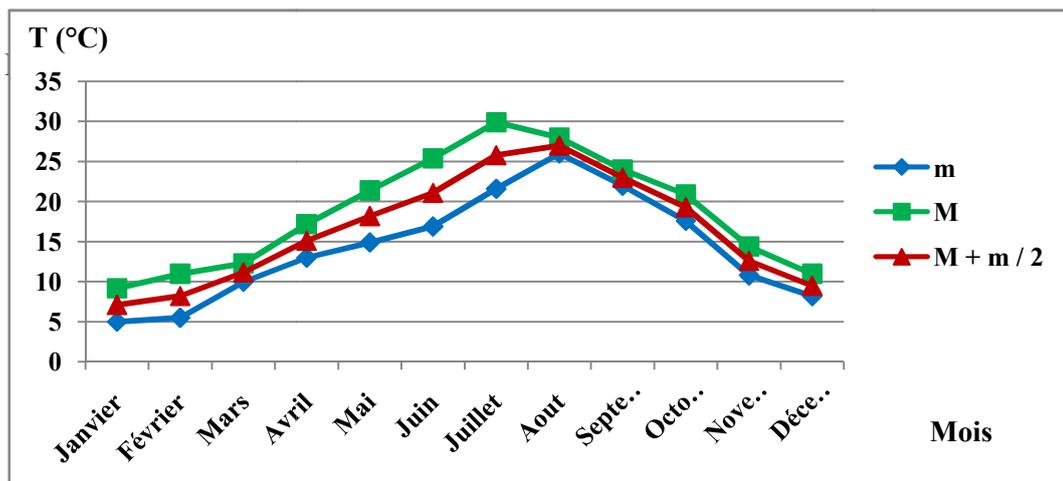


Figure 16: Représentation des données thermiques de la région de Bouira sur une moyenne de 15 ans (1995 – 2009).

Les variations des températures de la station météorologique de Bouira nous montrent que les plus basses enregistrées en hiver au mois de janvier avec 7°C et les plus élevées en été au mois de juillet avec 29°C.

I.2.4.3. Les vents :

En général, les vents influent sur le déplacement des sables et autres particules fines. Ils accentuent l'évapotranspiration. La (Fig. 15) montre que les vents soufflent durant l'année à différentes vitesses avec une moyenne annuelle de 2,50 m/s. Ils sont parfois fort avec un maximum au mois d'Avril de 3.15 m/s et un minimum au mois d'Octobre 2.08 m/s.

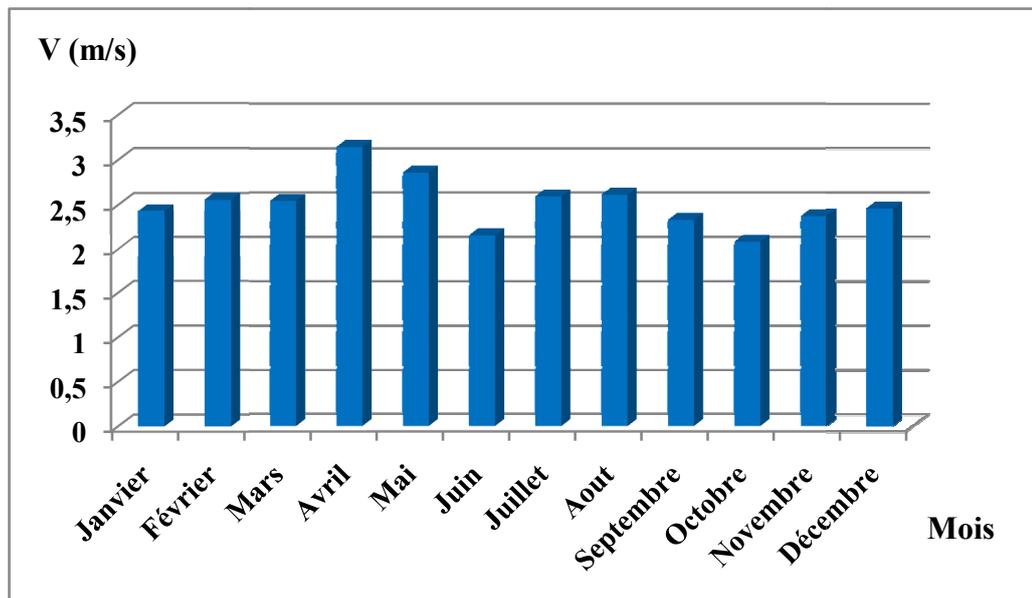


Figure 17: Variation de la vitesse moyenne des vents dans la région de Bouira (1995 – 2009).

La direction des vents dominants, sont d'une composante Nord-Ouest (NW) à Nord-Est (NE) en automne, et en hiver et d'une composante Sud-Ouest (SW) en été.

I.2.4.4. L'humidité :

C'est le degré hygrométrique qui détermine l'intensité de l'évapotranspiration chez les végétaux. Ce facteur climatique est étroitement lié à la température de l'air, le maximum de l'humidité relative étant atteint au minimum de la température de l'air et inversement.

La présence de l'humidité dans l'atmosphère empêche la diffusion des impuretés et peut éventuellement réagir avec ces dernières, de telle sorte qu'il peut en résulter des impuretés plus agressives (ex : en présence d'humidité, le dioxyde de soufre se transforme en acide sulfurique H_2SO_4 lequel contribue par la suite au phénomène des pluies acides).

Selon la (fig. 16), on remarque que le degré hygrométrique dans la région d'étude est très élevé et il dépasse 80%.

Les valeurs les plus faibles de l'humidité minimale sont enregistrées en période (juin-juillet) avec (40% - 44%), l'humidité maximale est enregistrée en mois (Janvier-Février-Novembre-Décembre) avec 80%.

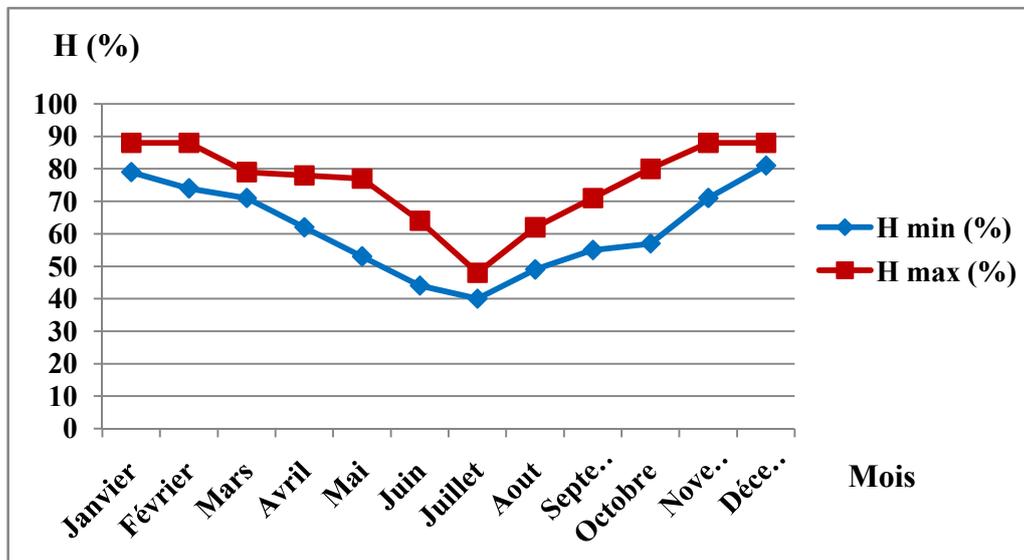


Figure 18: Variation de l'humidité dans la région de Bouira (1995 – 2009).

I.2.5. Contexte botanique

La flore est la liste des espèces végétales qui croissent dans un territoire donné.

Le canton Errich représente une richesse en espèces floristique et une diversité surprenante.

- ❖ **Espèces Autochtones** : Chêne liège, Chêne zeen.
- ❖ **Espèces Introduites** : Eucalyptus, cyprès, pin d'Alep.

Il est composé de deux strates arborescente et buissonnante.

- ❖ **La strate arborescente** est considérée comme jeune futaie mélangée, bien venante et dense par endroits, est constituée par ordre de dominance d'eucalyptus –cyprès, Pin D'Alep, chêne liège et Chêne zeen endémique à cette zone.
- ❖ **La strate buissonnante** caractérisée par un sous bois dense peu pénétrable composé principalement de lentisque, ciste, philaire, aubépine, lavande, arbousier, chèvre feuille, et bruyère endémique à la forêt.

Chapitre II

Protocole expérimental

Après avoir fait une prospection au niveau de la région de Bouira, nous avons remarqué que les espèces lichéniques et muscicoles sont limités en genre, seuls les deux espèces *Xanthoria parietina* et *Rhynchostegium ripariodes* ont retenu notre attention. Notre échantillonnage a lieu au niveau de la forêt Errich pour la proximité et aussi pour l'abondance des espèces.

II .1. Matériel biologique échantillonné :

II.1.1. Choix de l'espèce lichénique :

Notre étude concerne des cryptogames (les lichens et les mousses), pour les lichens nous avons choisi une espèce foliacée nitrophile à couleur luxuriante se développant sur différents phorophytes notamment sur « *Quercus suber* » d'où nous l'avons retenue pour notre expérimentation, il s'agit de *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.



Classification de *Xanthoria parietina* (Van Haluwyn et al, 1993)

Règne : Fungi

Division : Ascomycot

Sous-embranchement : Pezizomycotina

Classe : Lecanoromycetes

Ordre : Teloschistale

Famille: Teloschistacea

Genre : *Xanthoria*

Espèce : *parietina*

Photo 1 : *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.

(Amrouni, 2017).

Xanthoria parietina parfois nommée parmélie des murailles est un champignon lichenisé au thalle foliacé.

II.1.2. Description :

Thalle encroûtant, arrondi, rugueux, fin et foliacé, surface de 1 dm² couleur jaune, tirant vers le vert (à l'ombre) et l'orange (au soleil). Thalle recouvert en son centre de petites coupes, les apothécies bords foliacés lobés, fragiles, se décrochant facilement avec un ongle.

Cette espèce a été décrite pour la première fois par Linné en 1753 sous le nom de lichen *perietinus*.

Répandu dans la plupart des régions du monde, très abondante dans certaines contrées, très voyante en raison de sa couleur vert-jaune, ce lichen est l'un des plus étudiés au monde. Cette espèce présente un thalle individuel dépassant rarement huit centimètres, mais peut exceptionnellement atteindre une quinzaine de centimètre.

Le thalle est presque toujours fertile (**Honegger, 1996**), les organes de la reproduction sexuée se trouvent au centre, ils ont une couleur très foncée que le thalle et que leurs marges donnent naissance à des ascospores, disséminées par le vent, l'eau ou les fèces des animaux qui se nourrissent de l'espèce

II.1.3. Intérêt de *Xanthoria parietina* :

- On utilisait les Xanthories en guise de remède contre la diarrhée, contre la fièvre et contre la jaunisse et les maladies du foie (**Tiévant, 2001**).
- La Xanthorie broyée, mélangée à de l'urine macérée, permettait autrefois de teindre la laine.
- Aujourd'hui, les propriétés antivirales de la Xanthorie sont avérées, notamment contre les virus de type influenza, qui provoquent certaines grippe (**Ozenda et Clauzad, 1970**).

II.2.1. Choix de l'espèce muscicole :

Pour l'espèce muscicole nous avons choisi une espèce terricole, l'espèce la plus abondante sur le lieu d'échantillonnage. Il s'agit de *Rhynchostegium ripariodes* (Hedw.) Card.



Figure 19 :*Rhynchostegium ripariodes*
(Zetchi,2017)

Classification de *Rhynchostegium ripariodes*
(Ros et al., 2013)

Règne : Plantae

Sous-Règne : Viridaeplantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Equisetopsida

Sous-Classe : Bryidae

Ordre : Hypnales

Famille:Brachytheciaceae Schimp.

Genre : *Rhynchostegium* Schimp

Espèce : *riparioides*

Rhynchostegium riparioides, est une plante généralement robuste de 4 à 15 cm de long, en grandes touffes vert foncé à clair ou olivâtres, noirâtres à la base, se caractérisent par :

- Tige couchée, pendante ou rampante et redressée à l'apex, irrégulièrement ramifiée par des rameaux parfois ascendants. Tiges raides ou modérément flexibles, souvent dénudées à la base.
- Feuilles insérées sur plusieurs rangs tout autour de la tige, dressées à étalées, lâchement imbriquées.
- Feuille de taille moyenne (jusqu'à 2 mm de long), largement ovale à ovale-oblongue, Feuille concave, non décurrente.
- Nervure simple, assez forte, atteignant les 2/3 à souvent les 3/4 de la longueur du limbe.
- Apex largement et courtement pointé, aigu à obtus.
- Soie assez courte (1 cm), lisse. Capsule ovale-ellipsoïde assez large, bombée et légèrement rétrécie sous l'orifice, horizontale à faiblement inclinée. Opercule à bec long et courbé. Coiffe lisse. Anneau large.

II.2. Technique de prélèvement :

Pour les thalles lichéniques, on les a détachés de leur phorophyte à l'aide d'un couteau. Quant aux thalles muscicoles, on les a détachés soigneusement du sol.

Les échantillons prélevés sont placés dans un sachet bien étiqueté, transporté au laboratoire pour identification.

L'identification de l'espèce a été faite par Yves Garnier (<http://www.tela-botanica.org/>), 2017 et (BRY Sphaignes Mousses, 2005).

Chapitre III

Mise en place de l'essai

III.1. Essai de contamination des espèces :

Pour réaliser le test de contamination des échantillons de *Xanthoria parietina* et de *Rhynchostegium riparioides* avec la poussière émise par la cimenterie de Sour El Ghozlane, nous avons procédé au prélèvement d'une quantité de cette poussière récupérée au niveau de ce site industriel afin de l'étaler sur les échantillons végétaux de façon aléatoire.

Chaque semaine, un dépôt de poussière est effectué sur nos bioindicateurs et ceci durant une période de quatre semaines.

Les échantillons contaminés sont conservés dans les conditions ambiantes de laboratoire et toutes les semaines on détache une partie du thalle des lichens sur le phorophyte à l'aide d'un couteau, tandis que pour les mousses, nous avons arraché les thalles du sol à l'aide d'une pince.

III.2. Techniques analytiques :

III.2.1. Dosage de la chlorophylle :

Dans le but d'évaluer l'impact de la poussière émise par la cimenterie de Sour El Ghozlane sur la photosynthèse et spécialement sur la chlorophylle des thalles des lichens et des mousses, nous avons opté pour le dosage de la chlorophylle a et b tout en utilisant la méthode établie par Holden (1975).

L'extraction de la chlorophylle est obtenue chez les lichens par le broyage de 300mg de thalle avec 150mg de carbonate de calcium (CaCO_3) et 15ml d'acétone à 80% dans un mortier, après broyage total, la solution est filtrée à l'aide d'un papier filtre dans un erlen meyer.

Pour les mousses on pèse 1g de matière fraîche avec 25ml d'acétone à 80%. La solution est conservée à l'obscurité dans des boites noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Le dosage se fait par le prélèvement de 3ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre et le passage à la lecture.

La lecture se fait a deux longueurs d'ondes 645nm et 663nm 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).

$$\begin{aligned} \text{Chl.a} &= 12.7 (\text{D.O}_{663}) - 2.69(\text{D.O}_{645}) \\ \text{Chl.b} &= 22.9(\text{D.O}_{645}) - 4.68(\text{D.O}_{663}) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Chl.a} \\ \text{Chl.b} \end{aligned}} \right\} \text{ (Hiscox et al, 1986)}$$

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

DO: Densités Optiques (valeur donné par le spectrophotomètre aux longueurs d'ondes (645nm et 663nm).

Chl.a : chlorophylle a.

Chl.b : chlorophylle b.

Chl.ab : chlorophylle a et b.

III.2.2. Dosage de la proline :

La méthode utilisée pour le dosage de la proline est celle de (Troll et Tindsley, 1955) simplifiée, mise au point par (Dreier et Goring, 1974) et modifiée par (Monneveux et Nemmar, 1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique.

La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

III.2.2.1. Extraction de la proline :

On pèse 100 mg de matière végétale fraîche, après les avoir coupés en petits morceaux, on les introduits dans un tube à essai, auquel on ajoute 2ml de méthanol à 40% et on les recouvre de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool, l'ensemble est chauffé au bain-marie à 85°C pendant 60 minutes.

III.2.2.2. Réalisation du courbe étalon :

Une solution mère de proline est préparée à une concentration de 20µg/ml de méthanol à 40%. Dans des tubes à essai numérotés de 1 à 10, on prélève respectivement 1 à 10ml de la solution étalon, puis on ajuste à 10ml avec du méthanol à 40%.

Un volume de 1ml ensuite prélevé de chaque tube, puis déposé dans une autre série de tubes numérotés de 1 à 9 et qui correspondent respectivement à des quantités croissantes de proline (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20µg).

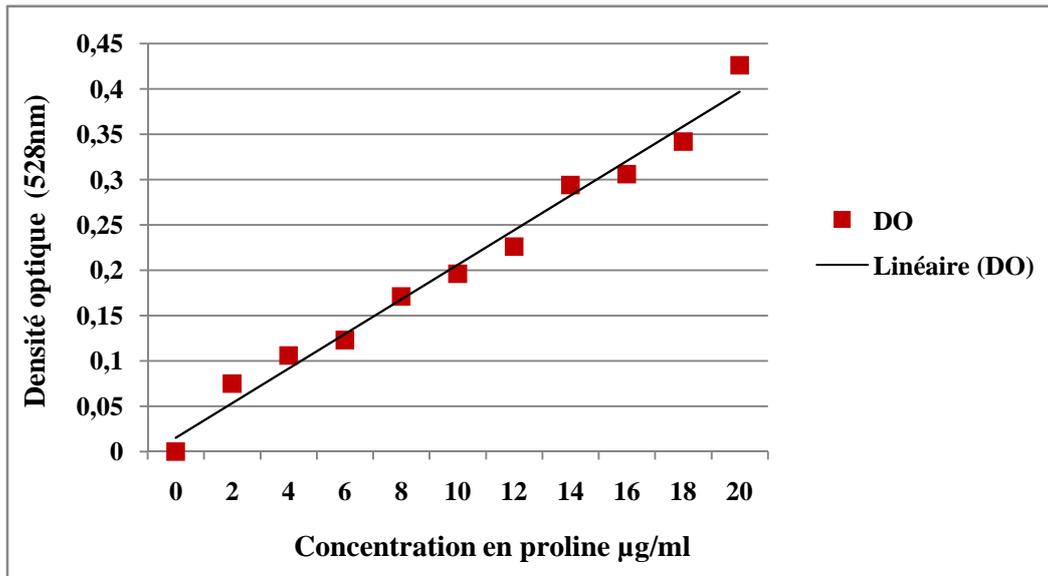


Figure 20: Courbe d'étalonnage de la proline

Après refroidissement des tubes à essai, on prélève 1ml d'extrait, auquel on ajoute 1ml d'acide acétique (CH_3COOH), 1ml d'un mélange contenant (120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) et 12.5g de ninhydrine ($\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_4$).

Les solutions sont portées à ébullition pendant 30 minutes, la couleur de cette dernière vire progressivement au rouge.

Après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène à la solution ; après agitation, deux phases se séparent :

- 1- La phase inférieure sans proline reste transparente ;
- 2- La phase supérieure colorée en rouge qui contient la proline. Cette phase est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction d'anhydride (Na_2SO_4).

Enfin, cette dernière est passée au spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm. L'étalonnage de l'appareil se fait par le mélange (acide acétique, eau distillée, acide orthophosphorique et ninhydrine) et les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe d'étalonnage. Le calcul des résultats du dosage est déterminé à partir de la formule suivante :

$$Y = 0,019 X + 0,013$$

$$R^2 = 0,982$$

X = Densité optique

Y = Concentration en proline ($\mu\text{g/g}$).

III.2.3. Détermination du rapport MF/MS :

Après avoir prélevé des échantillons frais du laboratoire, nous avons pesé 1,5g des thalles (MF) de *Xanthoria parietina* et *Rhynchostegium riparioides* puis mis à l'étuve à 105°C pendant 72 heures, une deuxième pesée à été réalisée pour déterminer la (MS).

Le rapport MF/MS est défini pour donner une idée sur la pureté de l'air du site

Résultats obtenus et discussion

I. Observation morphologique :

1.1. Chez *Xanthoria parietina* :

Nous avons remarqué que la morphologie de *Xanthoria parietina* change complètement ; les thalles encroûtant, arrondi et jaune deviennent après un mois de traitement gris, perd leur forme arrondi et désintègrent facilement.



Photo 2 : Observation macroscopique de *Xanthoria parietina* avant le test (Amrouni , Zetchi,2017)



Photo 3: Observation macroscopique de *Xanthoria parietina* à la fin du test (Amrouni,zetchi ,2017)

1.2. Chez *Rhynchostegium riparioides* :

Nous avons remarqué que la morphologie de *Rhynchostegium riparioides* change d'une façon remarquable ; ces grandes touffes vert foncé à clair ou olivâtres deviennent après un mois de traitement gris, perd leur taille et leur forme.



Photo 4: Observation macroscopique de *Rhynchostegium riparioides* avant le test (Amrouni,Zetchi ,2017)



Photo 5: Observation macroscopique de *Rhynchostegium riparioides* à la fin (Amrouni,Zetchi ,2017)

II. Résultats relatifs aux dosages de la chlorophylle :

2.1 : Variation de la teneur en chlorophylle chez *Xanthoria parietina* :

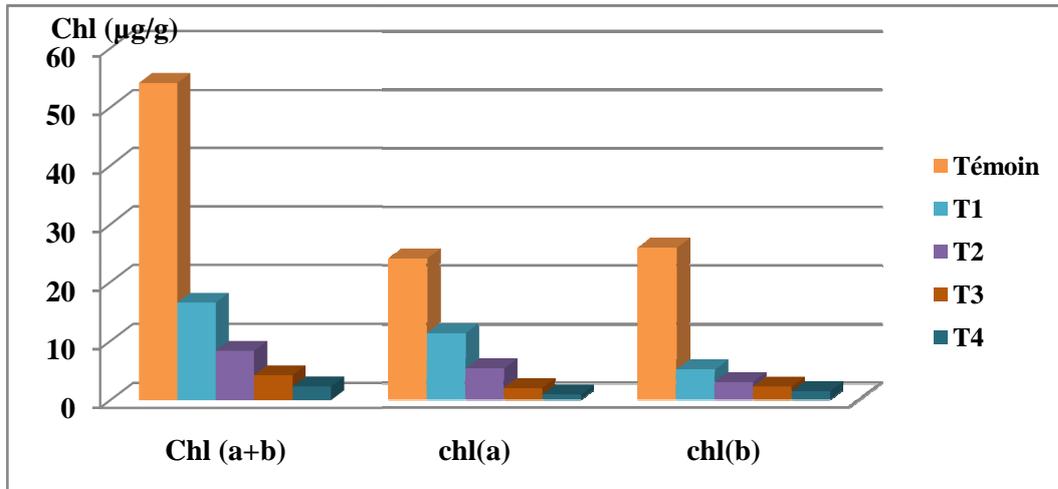


Figure 21: Variation de la teneur en chlorophylle a, b et a+b en chez *Xanthoria parietina*.

(T1 : premier traitement ; T2 : deuxième traitement ; T3 : troisième traitement ; T4 : quatrième traitement)

D'après les résultats obtenus (**Fig. 24**) nous remarquons que l'échantillon témoin (T) non traité présente une teneur assez élevée en chlorophylle (a) et supérieure à la teneur en chlorophylle (b). Ce qui est conforme aux taux normaux d'un végétal chlorophyllien.

Par contre pour les échantillons de *Xanthoria parietina* traité avec la poussière émise par la cimenterie en quantités croissantes (toutes les semaines), les résultats montrent que les teneurs en chlorophylle (a), (b) et (ab) ont tendance à diminuer en fonction du traitement. C'est à dire plus on ajoute la poussière plus les teneurs en chlorophylle a et b diminuent.

2.2 : Variation de la teneur en chlorophylle chez *Rhynchostegium ripariodes* :

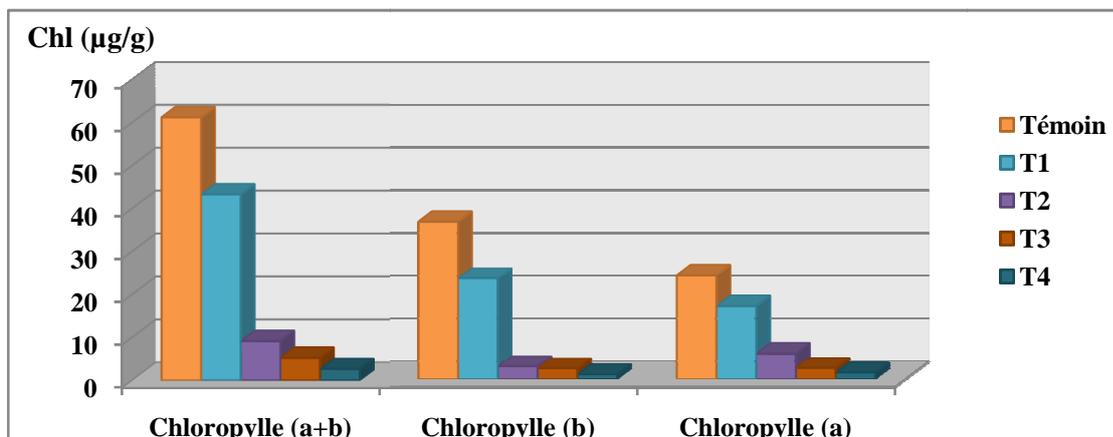


Figure 22: Variation de la teneur en chlorophylle a, b et a+b en chez *Rhynchostegium ripariodes*.

(T1 : premier traitement ; T2 : deuxième traitement ; T3 : troisième traitement ; T4 : quatrième traitement)

D'après la Figure 25, nous remarquons que l'ensemble chlorophyllien semble être affecté par la poussière émise par la cimenterie de Sour El Ghozlane, cela se traduit par une réduction importante de la Chl (a), (b) et (a+b).

Les résultats montrent une baisse de la teneur en chlorophylle engendrée par la réduction dans l'intensité photosynthétique et significativement corrélée à l'effet de la poussière sur l'espèce étudiée.

Plusieurs constatation sont en accord avec nos résultats portant sur la sensibilité de la photosynthèse et de la teneur en chlorophylle dans les conditions de pollution (Alioua, 2001 ; Maizi, 2010).

III. Résultats relatifs aux dosages de la proline :

3.1 : Variation de la teneur en proline chez *Xanthoria parietina* :

La proline est un acide aminé soluble dans l'eau et alcool et facilement oxydable par la ninhydrine, elle s'accumule dans la plante lorsque l'équilibre métabolique de celle –ci est perturbé par les conditions défavorables du milieu et peut varier d'une plante à une autre (Semadi, 1989)

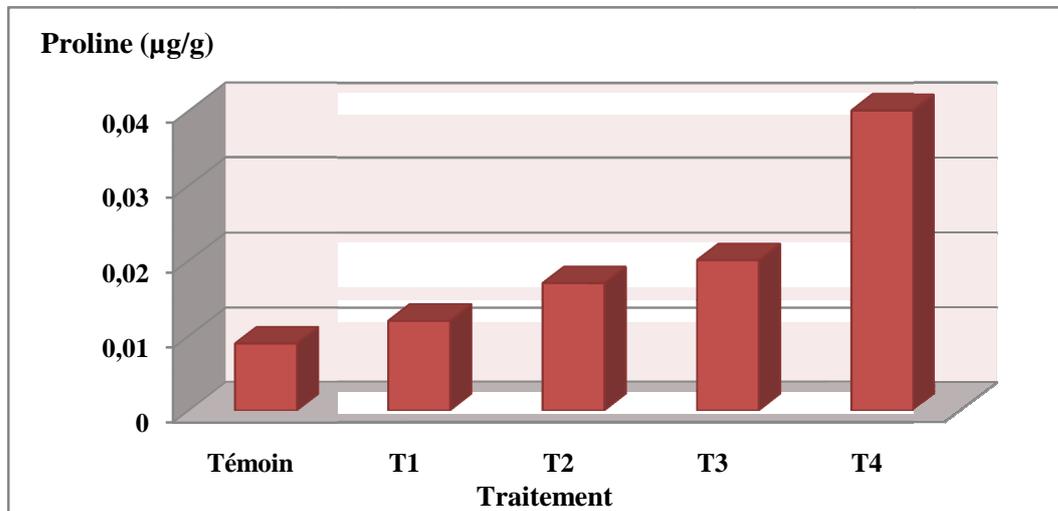


Figure 23 : Variations de la teneur en proline chez *Xanthoria parietina*

(T1 : premier traitement ; T2 : deuxième traitement ; T3 : troisième traitement ; T4 : quatrième traitement)

Nous constatons au niveau de l'échantillon prélevé de son habitat naturel (Témoin) que la teneur en proline est très basse pour repartir dans une tendance croissante respectivement pour le premier traitement (T1), deuxième traitement T2, troisième traitement T3 et quatrième traitement T4 ; ce qui témoigne à notre sens d'un état de stress aigu lors de la

perturbation brusque du végétal, ceci dit que plus la quantité de poussière augmente et plus la teneur en proline augmente d'où l'intérêt de ce biomarqueur pour caractériser un état de stress (Bladin, 1986).

Ceci est très clair par comparaison au témoin prélevé de la forêt d'Errich ou le taux de la proline enregistré représente presque le ¼ de la teneur en proline obtenue au niveau du T4 (Fig. 26).

3.2 : Variation de la teneur en proline chez *Rhynchosyrium ripariodes* :

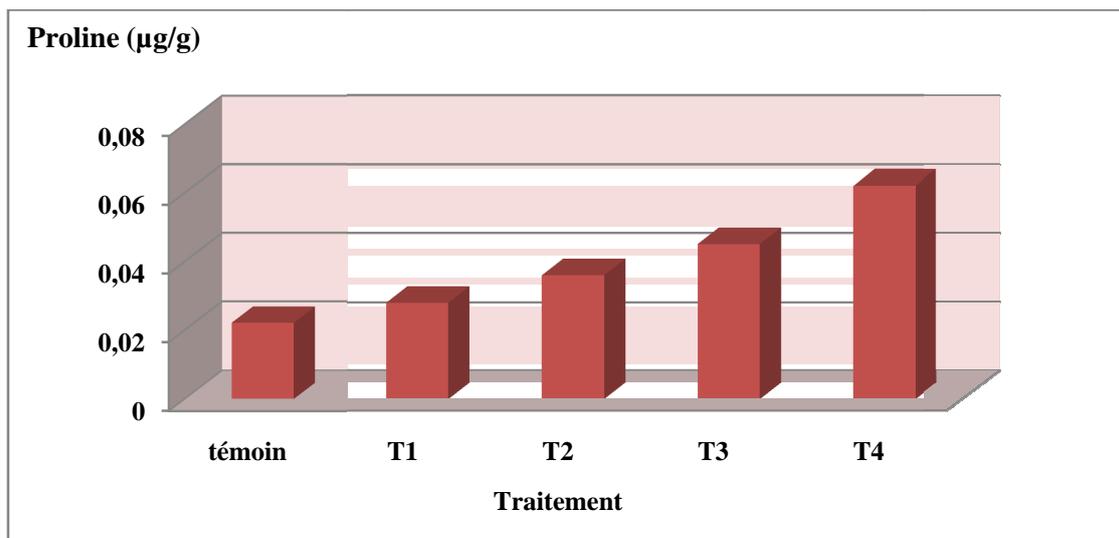


Figure 24: Variations de la teneur en proline chez *Rhynchosyrium ripariodes*.

(T1 : premier traitement ; T2 : deuxième traitement ; T3 : troisième traitement ; T4 : quatrième traitement)

D'après la Figure 27, on constate que chez le témoin la teneur en proline est inférieure par rapport à celle des échantillons traités, donc il y a une augmentation de la teneur en proline de 0,022µg/g (témoin) jusque à 0,062µg/g (traitement 4) cela signifie que la plante est trop stressée.

Le dosage de la proline chez les mousses représente un moyen relativement efficace pour déceler les phénomènes de stress engendrés par la poussière.

zzzzzIV. Résultats relatifs au rapport MF/MS :

4.1. Variation du rapport MF/MS chez *Xanthoria parietina* :

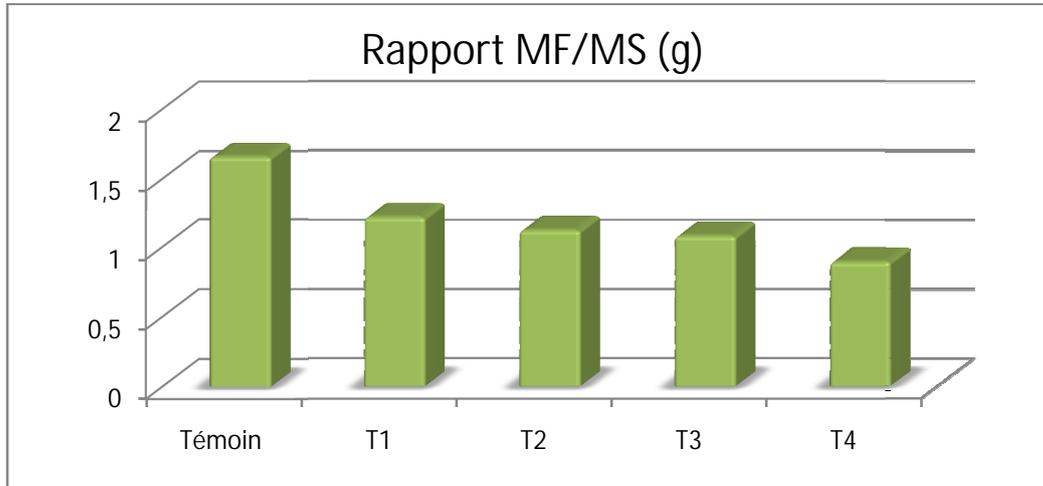


Figure 25: Variations du rapport MF /MS chez *Xanthoria parietina*

(T1 : premier traitement ; T2 : deuxième traitement ; T3 : troisième traitement ; T4 : quatrième traitement)

Suite l'analyse des données propos à la figure n° 28 et qui fait apparaitre la variation du rapport MF/MS chez *Xanthoria parietina* nous constatons que ce rapport(MF/MS) diminue .

Chez le témoin la teneur le rapport MF/MS est tré élevée par rapport à celle des échantillons traités de 1,53g (témoin) jusque à 1.01g (traitement 4) .cette diminution s'accenntue à chaque fois que la quantité de poussière croissantes .

4.2. Variation du rapport MF/MS chez *Rhynchostegium ripariodes* :

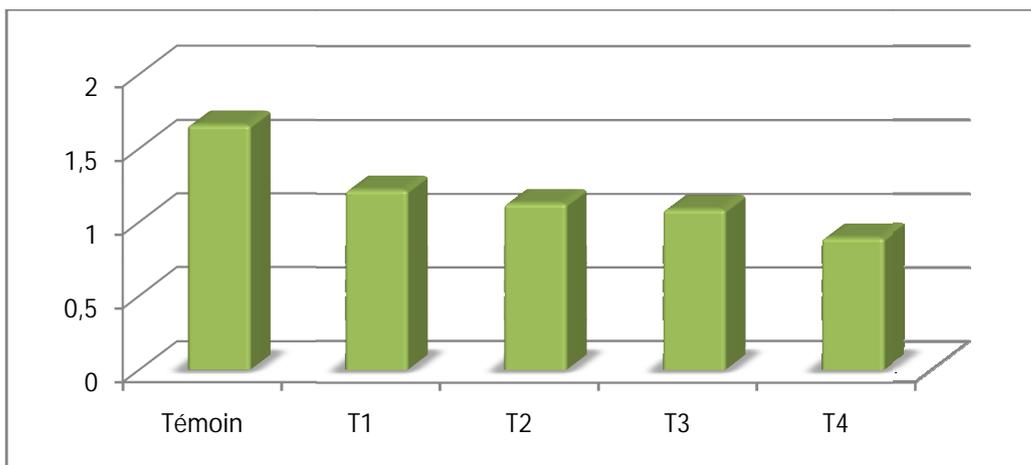


Figure 26: variation temporelles du rapport MF/MS chez *Rhynchostegium ripariodes*

(T1 : premier traitement ; T2 : deuxième traitement ; T3 : troisième traitement ; T4 : quatrième traitement)

Suit a l'analyse des données propres a la fig n° 29 relative à la variation temporelle du rapport MF/MS chez *Rhynchostegium ripariodes* , nous constatons que ce rapport a tendance à diminuer par rapport au témoin de 1,66 g jusque à 0,90 g (traitement 4) .

Conclusion générale

Les deux espèces se sont avérées de très bonnes bioindicatrices de la pollution par des émissions de la cimenterie de Sour El Ghozlane, ce qui les rend d'excellentes bioindicatrices pour l'estimation de la pollution notamment par les poussières ce qui va de pair avec les travaux de Ramade, 1982, Bladin, 1986, Semadi, 1989. Alioua, 2001, Maizi et *al.*, 2017) concernant les métaux lourds.

En ce qui concerne les variations des paramètres physiologiques mesurés, teneur en chlorophylle, en proline, elles peuvent témoigner de l'effet de la poussière sur les deux espèces étudiées, la teneur en chlorophylle, a tendance à diminuer à cause de la perturbation du processus photosynthétique ainsi que la dégradation de la matière fraîche, alors que la teneur en proline a tendance à augmenter avec le temps d'exposition à cause du stress subit plusieurs études sont en accord avec nos résultats (Deruelle, 1983 ; Semadi, 1989 ; Hellman et *al.*, 2000 ; Zambrano et Nash III, 2000 ; Fornasiero, 2001 Alioua, 2001, 2008;) concernant la pollution par les métaux lourds.

Néanmoins l'espèce muscicole a montré une sensibilité vis-à-vis de la poussière déposée plus élevée que celle de l'espèce lichénique *Xanthoria parietina*. La variation des paramètres reste effectivement fonction de la nature des espèces et du temps d'exposition à la pollution. (Maizi et *al.*, 2010 ; Khaldi, 2013)

Les stress environnementaux ou abiotiques, comme la pollution, la sécheresse, la salinité et les basses températures sont des conditions qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Contrairement aux animaux, qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques (**Laurent et Ahmed, 1991**).

L'exposition des mousses à différents polluants atmosphériques engendrent des décolorations et une réduction de la croissance (**Bargali, 1998a**) ce qui confirme nos résultats.

Concernant la mesure des teneurs moyennes en chlorophylles (a, b et ab), paramètres susceptibles de nous indiquer un éventuel état de stress dû à la présence d'un polluant chez les deux espèces végétales (mousses et lichens), cette dernière semble être affectée par la poussière durant les 4 semaines de traitement. La perturbation dans les teneurs moyennes en chlorophylles a, b et a+b, chez ces végétaux, explique l'atténuation de l'activité photosynthétique. Nos résultats sont en accord avec ceux de **Puritch et Barker (1967)**, qui

mettent en évidence un effet perturbateur de l'ammonium sur la biosynthèse des chlorophylles, de même qu'une perturbation de l'aspect morphologique externe et interne des chloroplastes des feuilles.

D'autres auteurs (**Gallego et al., 1996 ; Shradha Singh et al., 2004**) rapportent une dégénération fréquente de la quantité de chlorophylle et caroténoïdes chez les plantes exposés à différentes concentrations des métaux lourds.

Au terme des effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement, nous nous proposons de faire le bilan de nos différentes expérimentations et surtout d'expliquer comment cette dernière influence sur la vie végétale. Donc nous avons conduit une étude très vaste, en envisageant les effets néfastes sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de deux modèles biologiques (Mousses et Lichens), en utilisant la poussière du ciment comme source de contaminants.

Les principaux résultats obtenus sont :

- Augmentation des taux de proline chez les deux espèces a cause du stress subit
- Perturbations dans les taux des chlorophylles (a, b et a+b)
- Diminution du rapport MF/MS, à cause de la perturbation du processus photosynthétique ainsi que la dégradation de matière fraîche.
- Une modification complète de la morphologie des deux espèces

L'utilisation des végétaux inférieurs pour la détection des effets des polluants toxiques rejetés dans l'environnement est un acquis non négligeable qui permet à la fois une célérité pour le sauvegarde de notre environnement.

La dégradation du tissu végétal et la disparition de certaines espèces de notre environnement, s'explique par la perturbation de la respiration et de la photosynthèse des mousses et des lichens de même que toutes les modifications observées chez les espèces choisis dans notre travail et que l'on peut aisément extrapoler aux végétaux supérieurs.

Après la réalisation de cette étude nous avons pu suggérer les perspectives suivantes :

1. A une petite échelle :

- ✚ il sera intéressant d'élargir cette étude à d'autres paramètres pour approfondir la compréhension de l'effet de la pollution atmosphérique sur les deux espèces.
- ✚ Effectuer des dosages des autres enzymes impliquées dans la métabolisation / détoxification : GPX et SOD chez ces modèles biologiques ;
- ✚ Cibler le lieu d'accumulation, et de détoxification de ces polluants au niveau cellulaire ;

✚ Il est insuffisant de quantifier les poussières qui se déposent sur les végétaux supérieurs, pour cette raison, on propose de les doser chimiquement (métaux lourds et autres) ;

✚ Tester la toxicité des rejets de la cimenterie sur d'autres modèles biologiques ;

2. A une grande échelle :

✚ vu le pouvoir de la résistance constatée lors de cette étude on conseille d'utiliser les lichens et les mousses et notamment (*Xathoria pareitina*), dans le programme de surveillance de la qualité de l'air et le taux de pollution surtout en ce qui concerne les polluants d'origine industrielle

✚ On lance un appel pour lutter contre ce type de pollution et ceci par :

- L'installation des équipements nécessaires tels que les filtres performants, des capteurs physicochimiques afin de pallier à ce problème.

Les Références bibliographiques

A

- **Alioua A., 2001.** Détection de la pollution plombique d'origine automobile à l'aide de bio indicateurs végétaux dans l'agglomération de SKIKDA (Algérie). Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier-Grenoble, 136p.
- **Augier J., 1966.** Flore des bryophytes. Le Chevallier, Paris, 702 p.

B

- **Bargagli R., IOSCO F.F. et Leonzio C., 1985.** Inquinamento. 27, 33 - 73 p. In Bargagli. 1993.
- **Bargagli R., 1998.** Trace elements in terrestrial plants. An Eco-Physiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery Springer, Berlin.
- **Bernard A, Durif M., Lavrilloux P. L., Vandamme meunier L. et Defenne B., 2004.**
- **Blandin p., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bull. Ecol. 17-4, 215-307.

C

- **Campbell N.A., Reece J.B., 2002.** Biology, Second Edition. Pearson Education, Inc., Publishing as Benjamin Cummings. Version française: 2004, De Boeck & Larciens. a. Editions De Boeck Université, Bruxelles, Belgique, pp. 1364.
- **Clauzade G. et Roux C., 1985.** Likenoj d'Okcidenta Europo. Ilustrita determinlibro verkis, Kuunlaboris, Ed. Houmeau, Royan. 893 p.

D

- **Des abbayes S., 1978.** Précis de botanique, végétaux inférieurs .Ed .2, Masson, 520-534.
- **Deruelle S., 1983.** Écologie des lichens du bassin parisien. Impact de la pollution atmosphérique et relation avec les facteurs climatiques. Thèse de doctorat : Université Pierre et Marie Curie, Paris (France).
- **Douin I., 1986.** Nouvelle flore des *Mousses* et des *Hépatiques* .Ed. BELIN

F

- **Frey E., 1970.** Les lichens. Ed. Payot Lausanne, Berne, 64 p
- **Fornasiero R.B., 2001.** Phytotoxic effects of fluorides. *Plant Sci.*, 161, 979-985.

H

- Hellmann H., Funck D., Rentsch D. & Frommer W.B., 2000.** Hypersensitivity of an Arabidopsis sugar signaling mutant toward exogenous proline application. *Plant Physiol.*, 122, 357-367.
- **Hawksworth L. et Rose F., 1970.** Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227.5245:145-148.
Hawksworth D.L et Hill D.J. (1984). *The Lichen-Forming Fungi*. First Edition, France.
- **Hongger R., 1996.** Experimental studies of growth and regenerative capacity in the foliose lichen *Xanthoria parietina*. *New Phytologist*, 133(4), (573-581).

G

- **Gaci B., 2014.** « Evaluation De la toxicité des polluants atmosphérique sur les lichens « *Xanthoria parietina* », Mémoire de master Université de Boumerdès.
- **Gantet F., 1998.** Le monde des végétaux, didacticiel de biologie végétale. U.F.R. Sciences et techniques de tours.

- **Gallipurghari B., 1990.** Surveillance des métaux lourds au moyen de l'analyse des mousses. Rev. N°140, 129-134. 332p.
- **Gallego S.M., Benavides M.P. et Tomaro M.L., 1996.** Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves : Evidence for involvement of oxidative stress. Plant Science 121, 151-159.
- **Garrec J.P. et Van haluwyn C., 2002.** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Tec & Doc, Paris.
- **Garty J., 2001.** Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. Crit Rev Plant Sci; 20:309–371.
- **Giraudeau P., 1999.** Le suivi des émissions atmosphériques industrielles par la lichénologie. Gaz d'aujourd'hui 123, 26-32.
- **Geuzzoul F.Z., 2002.** L'accumulation du plomb par une espèce lichénique (*Ramalina farinacea*) et deux espèces de mousses (*Leucocon sciuroiudes* et *Brachytucium velutinum*). Thèse d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Option : pathologies des écosystèmes. Université d'Annaba, 49p.

K

- **Kalaora B., 1998.** Au delà de la nature l'environnement: l'observation sociale de l'environnement. Paris.
- **KHaldi F., 2013.** Mécanismes d'action des polluants chimiques industriels (engrais et NOx) sur des bio-indicateurs de pollution (Mousses et Lichens). Thèse de doctorat, Université d'Annaba. 155p.

L

- **Lacour S., 2001.** Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CEREAA (<http://cerea.enpc.fr/fr/>).
- **Lachheb M., 2009.** « Pollution de l'air, les milieux et l'homme ». Mémoire de Magistère, Université Mentouri Constantine.

- **Ligrone R., Duckett J.G. et Renzaglia K.S., 2000.** Conducting tissues and phylogenetic relationships of bryophytes. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 355, 795-813.

M

- **Maizi N., Alioua A., Tahar A., Semadi F., et Fadel D., 2010.** Utilisation des végétaux inférieurs comme bio indicateurs de la pollution plombique d'origine automobile dans la région d'Annaba (Algérie). *Rev. J. mater. Environ. Sci.* 1 (4), 226 p.

-**Maizi N., 2006.** Jumelage des bios indicateurs végétaux aux réseaux de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air Sama Safia dans la région d'Annaba. Mémoire de Magister, université d'Annaba.

-**Markert B.A., Breure A.M., and Zechmeister H.G., 2003:** Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment, in B. A. Markert, A. M. Breure, and H. G. Zechmeister (eds.), *Bioindicators & Biomonitors: Principles, Concepts and Applications*, Elsevier, Amsterdam, pp. 3–39.

- **Martin J. et Maystre L.Y., 1988.** Santé et pollution de l'air (in French). Presses polytechniques romandes, Lausanne, 146 p.

- **Mouvet C., 1983.** Bryophyte aquatique et métaux lourds. Rapport de contrat à l'agence Financière de bassin – Rhin – Meuse, 57160 Moulin – Metz, France. 38 p.

NULTSCH, W., 1998. Botanique générale. Lichens. Université de Boeck, 602p.

N

- **Nardin D., 2000.** L'embranchement des bryophytes ou « mousses ». Caractéristiques, classification, cycle de vie, 5p.

- **Organisation mondiale de la sante, 2000.** « Quantification of health effects of exposure to air pollution », Report of a who working group, Rapport no: EUR/01/5026342E74256), Pays-Bas.

O

- **Ozenda P., 2000.** Les végétaux : organisation et diversité biologique. Ed. Masson. 170-175.
- **Ozenda P. et Clauzade G., 1970.** Les lichens, étude biologique et flore illustrée. Ed. Masson. Paris. 808p.
- **Ozenda P. et Clauzade G., 1970.** Les lichens, étude biologique et flore illustrée. Ed. Masson (Paris). 808p.

P

- **Pacyna J.M, & Graedel T.E., 1995.** Atmospheric emissions inventories: status and prospects. « Annual Review of Energy and the Environment », pp.20, 265-300.
- **Programme des nations unies pour l'environnement geo, 2000.** « L'avenir de l'environnement mondial » Nairobi (Kenya).
- **Programme d'information sur l'atmosphère,** « Encyclopédie de l'Environnement Atmosphérique le Climat et l'Environnement ». Royaume Uni disponibles http://espritderio.com/spip/site.php3?id_rubrique=30&id_syndic=76).
- **Puritch G.S. et Barker A.V., 1967.** Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. Plant Physiol 42: 1229-1238 .

R

- **Ramade F., 1995.** Eléments d'écologie, écologie appliquée. 5ème Edition. Ed. Ediscience International : 89-90
- **Ramade F., 2000.** « Les polluants de l'environnement et de l'homme» dictionnaire encyclopédique des pollutions, Ediscience international, Paris, pages (13, 33,424).

S

- **Semadi A., 1989.** Effet de la pollution atmosphérique, pollution globale, fluorée, plombique sur la végétation dans la région de Annaba (Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat en Science Nat. Université P. et M. Curie (Paris 6), 339p.
- **SHumacker A. et Hallet C., 1997.** Article (Station scientifique des hautes-fagnes, Ugl). Edition: M. Du frêne et Ph. Lebrun (UCL). Décembre :1997.

T

- **Thibaut G., 1998.** La pollution atmosphérique en milieu urbain (l'exemple de la région parisienne. Mairie de Paris : Direction de la Protection de l'Environnement, Service des Pollutions Atmosphériques - Air et Silence
- **Tiévant P., 2001** .guide des lichens : 350 espèces de lichens D'Europe, éd. Delachaux et Niestlé.

V

- **Van haluwyn C. et Lerond M., 1993.** Guide des lichens. Ed. Lechevalier, Paris, 334p.
- **Van Haluwyn C . et Lerond M., 1993.** Guide des lichens. Ed. Lechevalier, Paris , 344 p .

Z

- **Zambrano A. & Nash T.H.III, 2000.** Lichen responses to short-term transplantation in Desierto de Los Leones, Mexico City. *Environ. Pollut.*, **107**, 407-412.

 **Site internet**

CITPA.,2017- Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphériques « la pollution atmosphérique en bref, Différentes échelles de la pollution », disponible sur <http://www.citepa.org>, mise à jour 14/12/2010 .

EEA., 1998- Encyclopédie de l'Environnement Atmosphérique.

CFQNP.,2017 – centre french quality natural disponible sur http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/air_quality/older/natural_air_pollution.html, consulté le 18/03/2017.

EDCO. ,2017- environnement dictionnaire compose organique,disponible sur http://www.actu.environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/compose_organique_volatil_cov.php,consulté le 22/03/2017.

DGF., 2017 - Derction général foréstiér [www .Erriche.com](http://www.eric.com).Consulté le 19 mai 2017 à 20 : 15.

Annexes

Tableau n° 3 : Les données climatologiques de la station de Bouira 1995-2009

Mois 1995- 2009	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
P moyennes (mm)	72,1	49,83	89,2	64,41	45,51	7,66	3,75	08,08	56,43	47,78	66,11	89,65
T minimale (C°)	5	5,5	10	13	14,9	16,9	21,6	26	22	17,6	10,8	8,2
T maximale (C°)	9,2	11	12,3	17,2	21,4	25,4	29,9	28	24	20,9	14,4	11
T moyenne (C°)	7,1	8,2	11,15	15,1	18,2	21,1	25,8	27	23	19,3	12,6	9,5
Vent moyen (m/s)	2,43	2,56	2,54	3,15	2,86	2,15	2,59	2,61	2,33	2,08	2,37	2,45
H minimale (%)	79	74	71	62	53	44	40	49	55	57	71	81
H maximale (%)	88	88	79	78	77	64	48	62	71	80	88	88
H Moyenne (%)	84	80,5	76,1	71,5	64,6	54,1	46,1	53,6	64,3	69,8	78,5	85,1

Tableau n° 4 : Résultats relatifs à la variation de la teneur en chlorophylle chez *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$).

	Témoin	T1	T2	T3	T4
Chlorophylle (a+b)	54,104	16,541	8,379	4,246	2,333
Chlorophylle (b)	25,963	5,159	3,053	2,239	1,447
Chlorophylle (a)	24,15	11,386	5,327	2,009	0,887

Tableau n°5 : Résultats relatifs à la variation de la teneur en proline chez *Xanthoria parietina* ($\mu\text{g/g}$).

Témoin	0,009
Traitement n° 1	0,012
Traitement n° 2	0,017
Traitement n° 3	0,02
Traitement n° 4	0,04

Tableau n° 6 : Résultats relatifs à la variation du rapport MF/MS chez *Xanthoria parietina*.

	MF (g)	MS (g)	MF/MS
Témoin	1,5	0,98	1,53
Traitement n° 1	1,5	1,37	1,09
Traitement n° 2	1,5	1,38	1,08
Traitement n° 3	1,5	1,41	1,06
Traitement n° 4	1,5	1,48	1,01

Tableau n°7 : Résultats relatifs à la variation de la teneur en chlorophylle chez *Rhynchostegium ripariodes* ($\mu\text{g/g}$).

	Témoin	T1	T2	T3	T4
Chlorophylle (a+b)	61,221	43,302	9,163	5,257	2,646
Chlorophylle (b)	36,875	23,571	3,047	2,586	1,126
Chlorophylle (a)	24,367	17,205	6,118	2,673	1,52

Tableau n° 8 : Résultats relatifs à la variation de la teneur en proline chez *Rhynchostegium ripariodes* ($\mu\text{g/g}$)

Témoin	0,022
Traitement n°1	0,028
Traitement n°2	0,036
Traitement n°3	0,045
Traitement n°4	0,062

Tableau n° 09 : Résultats relatifs à la variation du rapport MF /MS chez *Rhynchostegium ripariodes*.

	MF (g)	MS (g)	MF/MS
Témoin	1,5	0,90	1,66
Traitement n°1	1,5	1,22	1,22
Traitement n°2	1,5	1,32	1,13
Traitement n° 3	1,5	1,37	1,09
Traitement n°4	1,5	1,39	0,90