

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des sciences biologiques de l'environnement  
Spécialité : Toxicologie industrielle et environnementale



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme  
**MASTER**

*Thème*

Utilisation des mousses (*Bryum argenteum*) et de lichen  
(*Xanthoria parietina*) dans la Bioaccumulation des HAP  
atmosphériques à Béjaïa

**Présenté par** : AIT ABBAS Yamina & MEBARKI Donia.

Soutenu le : 03/07/2024

Devant le jury composé de :

Mme. KEBBI-BELHADJ M.	MCB (U. Béjaïa)	Présidente
Melle. DIAF A.	MCB (U. Béjaïa)	Examinatrice
Mme. BENAÏSSA F.	Professeur (U. Béjaïa)	Encadrante
Mme. BOURFIS N	MCA (U. Bouira)	Co-encadrante

**Année universitaire 2023/2024**

# Remerciements

Nous débutons par exprimer notre gratitude envers Allah, le Tout-Puissant et Miséricordieux, pour nous avoir octroyé la santé, la patience et la détermination nécessaire à l'élaboration de ce mémoire. Alors que nous apportons les touches finales à ce travail, nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont rendu ce projet réalisable :

Nous exprimons notre profonde reconnaissance envers notre promotrice, Madame Benaïssa Fatima, pour ses conseils éclairés et son orientation précieuse tout au long de notre parcours.

Nos remerciements vont également à Madame Kebbi, enseignante à l'université de Bejaïa, pour l'honneur qu'elle nous a fait en présidant et en évaluant notre travail, ainsi que pour le temps précieux qu'elle nous a accordé. Nous exprimons notre sincère gratitude envers Madame Diaf, enseignante à l'université de Bejaïa, pour avoir accepté d'examiner attentivement notre travail. Nous tenons à remercier chaleureusement Monsieur Bakouri pour sa bienveillance et sa patience à notre égard. Nous adressons également nos remerciements à notre camarade Islam Brahmi.

Un remerciement spécial est adressé à Madame Bourfis Nassima, enseignante à l'université de Bouira, pour son suivi attentif au laboratoire pédagogique de la faculté SNV à Bouira.

Enfin, nos plus sincères remerciements vont à nos enseignants à l'université de Bejaïa ainsi qu'à toute la communauté de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, dont l'apport précieux enrichi notre formation.

## *Dédicaces*

À l'heure où je termine ce mémoire, je souhaite chaleureusement dédier cette réussite à

Ceux qui ont été mes piliers tout au long de cette aventure académique.

A mes chers parents, dont le soutien indéfectible et les sacrifices ont rendu possible chaque étape de ce parcours.

À mes frères Sami & Massinissa et ma sœur Célia, qui ont toujours été mes compagnons de route, je vous remercie pour votre soutien constant et vos encouragements infaillibles.

À ma nièce Ania, qui apporte une joie pure à ma vie. A mes amis, pour vos encouragements et votre présence enrichissante, vous avez rendu ce voyage plus significatif.

Enfin, à tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu de près ou de loin, je vous adresse ma profonde gratitude. Cette réussite est aussi la vôtre, et je la partage avec vous avec une immense reconnaissance et un cœur rempli de joie.

Donia.

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont  
Toujours soutenue et pour leurs encouragements et leur  
Soutien, que dieu vous protège, je vous aime.

À mes chers grands parents, à qui je souhaite une longue vie

À mes chers frères Younes & Amine et ma sœur Mélina, que j'aime beaucoup je vous  
Souhaite une vie pleine de réussite.

À ma chère amie Djamila, avec qui j'ai passé des moments  
Inoubliables

À ma camarade Dounia et sa famille

A mes chers enseignants Maouchi & Meznad

À toutes la promotion master II toxicologie industrielle et  
Environnementale (2023/2024).

À tous ceux qui sont chers pour moi

Yamina

# Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	5
<b>Chapitre I Contexte Générale</b>	
I. Pollution atmosphérique.....	5
<i>I.1. Emissions et origines de polluants atmosphériques.....</i>	<i>5</i>
<i>I.2. Echelle de pollution atmosphérique.....</i>	<i>6</i>
<i>I.2.1. Echelle locale.....</i>	<i>6</i>
<i>I.2.2. Echelle régionale.....</i>	<i>6</i>
<i>I.2.3. Echelle globale.....</i>	<i>7</i>
II. Pollution atmosphérique par les HAP.....	7
<i>II.1. Structure et Formation des HAP.....</i>	<i>7</i>
<i>II.2. Caractéristiques Physico-chimiques.....</i>	<i>8</i>
<i>II.3. Sources d'émissions des HAP dans l'atmosphère.....</i>	<i>8</i>
<i>II.3.1. Source Naturelle.....</i>	<i>8</i>
<i>II.3.2. Sources Anthropiques.....</i>	<i>8</i>
<i>II.4. Transport et devenir dans l'environnement.....</i>	<i>9</i>
<i>II.5. Relation des HAP avec les PM.....</i>	<i>9</i>
<i>II.6. Surveillance de la qualité de l'air.....</i>	<i>9</i>
<i>II.7. Méthodes de surveillance.....</i>	<i>9</i>
III. Bio surveillance de la qualité de l'air.....	10
<i>III.1. Définition et méthodes.....</i>	<i>10</i>
<i>III.2. Principe de la bio surveillance.....</i>	<i>10</i>
<i>III.2.1. Bio surveillance dite sensible.....</i>	<i>11</i>
<i>III.2.2. Bio surveillance par accumulation.....</i>	<i>11</i>
<i>III.3. Stratégies de la bio surveillance.....</i>	<i>12</i>
<i>III.3.1. Bio surveillance in Situ.....</i>	<i>12</i>
<i>III.3.2. Méthode des transplants.....</i>	<i>12</i>
<i>III.4. Bio surveillance par les végétaux.....</i>	<i>13</i>
<i>III.4.1. Bio surveillance par lichens.....</i>	<i>13</i>
<i>III.4.1.1. Critères écologiques des lichens.....</i>	<i>14</i>
<i>III.4.1.2. Usage des lichens comme Bioaccumulateurs.....</i>	<i>14</i>
<i>III.4.2. Bio surveillance par les Mousses.....</i>	<i>15</i>
<i>III.4.2.1. Ecologie des mousses.....</i>	<i>15</i>
<i>III.4.3. Usage comme Bio accumulateurs.....</i>	<i>16</i>
<i>III.5. Avantages et limites de la bio surveillance.....</i>	<i>16</i>

# Sommaire

## Chapitre2 Matériels et Méthodes

I. Description de la zone d'étude.....	19
<i>I.1. Situation Géographique.....</i>	<i>19</i>
<i>I.2. Climat de Bejaia.....</i>	<i>19</i>
<i>I.2.1. Température.....</i>	<i>19</i>
<i>I.2.2. Vent.....</i>	<i>19</i>
<i>I.2.3. Humidité.....</i>	<i>20</i>
<i>I.2.4. Précipitation.....</i>	<i>21</i>
<i>I.2.5. Topographie.....</i>	<i>21</i>
II.Travail du Terrain.....	22
<i>II.1.Choix des sites d'échantillonnage.....</i>	<i>22</i>
<i>II.2.Identification de Matériels biologique.....</i>	<i>23</i>
III.Travail pratique au laboratoire.....	24
<i>III.1.Matériels utilisés.....</i>	<i>24</i>
<i>III.2.Réactifs utilisés.....</i>	<i>24</i>
<i>III.3.Extractions des HAP avec la méthode de Soxhlet.....</i>	<i>25</i>
<i>III.4.Dosage des poussières et des cires.....</i>	<i>26</i>
<i>III.5.Dosage de la chlorophylle.....</i>	<i>27</i>
<i>III.6.Dosage de la proline.....</i>	<i>28</i>
IV.Analyse statistique.....	29

## Chapitre3 Résultat et discussion

I. Distribution générale des données.....	32
II.Paramètres de pollution.....	33
<i>II.1.Évaluation de l'accumulation des HAP.....</i>	<i>33</i>
<i>II.2.Évaluation de la quantité des Poussières de cires.....</i>	<i>35</i>
<i>II.3.Dosage de la chlorophylle.....</i>	<i>36</i>
<i>II.4.Dosage de la chlorophylle a (Chl a).....</i>	<i>36</i>
<i>II.4.1.Dosage de la chlorophylle b (Chl b).....</i>	<i>38</i>
<i>II.4.2.Dosage de la chlorophylle ab (Chl ab).....</i>	<i>40</i>
<i>II.5.Dosage de la proline.....</i>	<i>42</i>
III.Résultats de l'ANOVA.....	43
IV.Corrélation entre les paramètres.....	44
<i>IV.1.ACP pour Xanthoria parietina.....</i>	<i>44</i>
<i>IV.2.ACP pour Bryum argenteum.....</i>	<i>46</i>
V.Discussion.....	48
<i>Conclusion.....</i>	<i>50</i>
<i>Bibliographie.....</i>	<i>53</i>
<i>Annexe.....</i>	<i>60</i>

# *Sommaire*

*Résumé*.....60

# Listes des Figures

Figure 1. Structure chimique des 16 HAP classés prioritaires par l'US EPA.....	7
Figure2. Schéma récapitulatif du chapitre matériels et méthodes.....	18
Figure 3. Température moyenne à Bejaia.....	19
Figure4. Vitesse moyenne du vent à Bejaia.....	20
Figure5. Niveaux de confort selon l'humidité à Bejaia.....	20
Figure 6. Probabilité de précipitation quotidienne à Bejaia.....	21
Figure7. Localisation des stations d'échantillonnage au niveau de Bejaia.....	23
Figure8. Schéma de protocole expérimental pour l'extraction des HAP par Soxhlet.....	26
Figure9. Schéma de protocole expérimental pour le dosage des PM sur les surfaces foliaire.....	27
Figure10. Schéma de protocole expérimental de dosage de la chlorophylle.....	27
Figure11. Protocole expérimental pour le dosage de la proline.....	28
Figure 12. Séparation des deux phases : inférieure contenant la proline et supérieure dépourvue d'elle.....	29
Figure 13. Variation des concentrations moyennes des HAP (ng/g) accumulés par Xanthoria parietina et Bryum argenteum en fonction des stations a Bejaïa.....	33
Figure14. Variation spatiale des HAP accumulés par Xanthoria parietina à Bejaia.....	34
Figure 15. Variation spatiale des HAP accumulés par Bryum argenteum à Bejaia.....	34
Figure 16. Variation des concentrations moyennes des PM (mg/g) par stations a Bejaïa.....	35
Figure 17. Variation spatiale de la quantité de PM accumulé par Xanthoria parietina à Bejaia.....	36
Figure 18. Variation spatiale de la quantité de PM accumulée par Bryum argenteum à Bejaia.....	36
Figure19. Variation des concentrations moyennes des Chl a ( $\mu\text{g/g}$ ) par stations a Bejaïa.....	37
Figure 20. Variation spatiale de la quantité de Chl a chez Xanthoria Parietina à Bejaia.....	38
Figure 21. Variation spatiale de la quantité de Chl a chez Bryum argenteum à Béjaia.....	38
Figure22. Variation des teneurs en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des Stations.....	39
Figure23. Variation spatiale de la quantité de Chl b chez Xanthoria Parietina à Béjaia.....	40
Figure 24. Variation spatiale de la quantité de Chl b chez Bryum argenteum à Bejaia.....	40
Figure25. Variation des teneurs en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des Station.....	41
Figure 26. Variation spatiale de la quantité de Chl ab chez Xanthoria Parietina à Béjaia.....	42
Figure 27. Variation spatiale de la quantité de Chl ab chez Bryum argenteum à Béjaia.....	42
Figure 28. Variation spatiale de quantité de proline synthétisée à Bejaia.....	42
Figure 29. Variation spatiale de la quantité de Chl ab chez Xanthoria Parietina à Béjaia.....	43
Figure 30. Variation spatiale de la quantité de Proline chez Bryum argenteum à Béjaia.....	43
Figure31. Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur Xanthoria parietina.....	44
Figure 32. Distribution des individus dans le cercle de corrélation des Xanthoria parietina.....	45
Figure33. Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de Proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur Bryum argenteum.....	46
Figure 34. Distribution des individus dans le cercle de corrélation des Bryum argenteum.....	47

# Liste des tableaux

Tableau 1. Principaux polluants atmosphériques surveillés : leurs origines et effets.....	6
Tableau 2. Comparaison entre la bio surveillance passive et active.....	13
Tableau 3. Caractéristiques des points d'échantillonnage.....	22
Tableau 4. Réactifs utilisés dans chaque extraction et leur quantité dans chaque protocole.....	25
Tableau 5. Statistiques descriptives des données de Xanthoria parietina.....	32
Tableau 6. Statistiques descriptives des données de Bryum argenteum.....	32
Tableau 7. Corrélation des paramètres mesurés avec les deux axes de cercle de corrélation.....	45
Tableau 8. Corrélation des paramètres mesurés avec les deux axes de cercle de corrélation.....	47
Tableau 9. La littérature de comparaison de nos résultats .....	52

## *Liste des abréviations*

ACP : Analyse en Composantes Principales.

AEE : Agence européenne pour l'environnement.

AFNOR : Association française de normalisation.

ANOVA: Analyse de variance.

Chl : Chlorophylle.

CO : Monoxyde de carbone.

COV : Composés Organiques Volatiles.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques polycycliques.

KH : La constante de Henry.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

POP : Polluants organiques persistants. .

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

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

PM : Particulate Matter.

USEPA: Agence de protection de l'environnement des Etats Unis.

# *Introduction*

# Introduction

L'avènement de l'ère industrielle au XIXe siècle a initié une ère de transformation profonde de l'atmosphère terrestre, illustrant ainsi les évolutions des activités humaines et l'augmentation des émissions de substances dans l'air (Desalme, 2011 ;Allahnour et al.,2018)

La pollution de l'air est un problème majeur dans le monde (Gérin et al ., 2003 ;AEE, 2014). Responsable annuellement de sept millions de décès et de graves dégradations environnementales (Garrec et al.,2002 ;World Health Organization, 2021),Parmi ces différentes formes, celle causée par les hydrocarbures aromatique polycyclique résulte de la contamination par des hydrocarbures gazeux d'origine artificielle ou naturelle.(Sims et Overcash, 1988 ;Piccardo et al .,2001).En outre, les HAP, émis lors de divers processus de combustion, sont d'excellents indicateurs de la pollution atmosphérique. Leur régulation à l'échelle mondiale, les plaçant sur un pied d'égalité avec les polluants (Holoubek et al., 2000 ; Lehndorff et Schwark, 2004 ; Albinet, 2006 ;De Nicola et al., 2011).

La gestion de cette problématique mondiale nécessite un suivi spatial et temporel rigoureux pour identifier les zones prioritaires nécessitant une amélioration de la qualité de l'air. Les capteurs physico-chimiques, bien que couramment utilisés pour mesurer les concentrations de polluants atmosphériques(Hugo, 2022), présentent des limitations liées à leur coût élevé, la nature ponctuelle des données collectées et le nombre restreint de substances mesurées (Domeno et al ;2006),Dans ce contexte, la biosurveillance basée sur l'étude des systèmes vivants, s'avère être une méthode complémentaire et économique. Elle permet d'améliorer la résolution spatiale et temporelle de la surveillance de la qualité de l'air en intégrant les effets de multiples polluants atmosphériques en une seule réponse biologique(De Temmerman et al., 2001 ;Rocca, 2004 ;Blasco et al.,2008 ;Augusto et al.,2010 ;Ares et al .,2011,Blasco et al .,2011 ;Guéguen et al.,2011 ;Augusto et al.,2013 ;Niu et al.,2019 ;Ristić et al.,2017 ;Martinez-Swatson et al.,2020).

Au cours des dernières décennies, l'utilisation de plantes pour la bio surveillance de la pollution atmosphérique urbaine, y compris les HAP, a gagné en importance en raison de sa facilité d'accès et de son faible coût(Garrec et Van Haluwyn,2002 ;Prajapati et Tripathi, 2008 ;De Nicola et al.,2016 ;De Nicola, et al., 2016 ;Prajapati et Tripathi, 2008 ;Sari et al .,2021).

# Introduction

Plusieurs études se sont concentrées sur l'effet de la pollution sur les zones urbaines (Gombert et al., 2004 ; Washburn et Culley, 2006 ; Blasco L et al., 2008 ; Calvelo et al., 2009 ; Kaeffer et al., 2011 ; Stamenkovic T et al., 2013a) en utilisant les lichens comme bioaccumulateurs (Cvijan et Stamenkovic, 1996 ; Pejcinovic, 2000 ; Stamenkovic et Cvijan, 2002 ; Stamenkovic et Cvijan, 2010).

Le développement socio-économique des pays du Maghreb, notamment de l'Algérie, engendre une augmentation de la pollution atmosphérique, ce qui met en danger à la fois ses écosystèmes et la santé humaine (Ghennam, Abdoun, 2017 ; Maatoug et al ; 2011). Dans le cas spécifique de l'Algérie, des études scientifiques ont été menées pour évaluer les concentrations de substances chimiques néfastes pour la végétation dans les milieux urbains (Rahali, 2003), d'Annaba (Semadi, 1993 et Maizi, 2006, 2010) et de Tiaret (Maatoug, 2010). Ces recherches ont révélé que les plantes et les animaux tels que les lichens et les mousses peuvent servir de bioaccumulateurs précieux de la pollution. (Berrayah, 2016).

Dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'étude intitulé « Mousses et lichens dans la bioaccumulation des Hydrocarbures aromatiques Polycycliques à Bejaia »

Ce travail consiste à les lichens de l'espèce « *Xanthoria parietina* » et les Mousses de l'espèce « *Bryum argenteum* » comme bioaccumulateur de la pollution atmosphérique par les HAP.

Cette étude comprend trois objectifs principaux et qui sont de:

- Évaluer la qualité de l'air en terme de particules en suspension (Particulate Matter : PM) dans la région de « Bejaia ».
- Évaluer les niveaux des HAP accumulés par "*Xanthoria parietina*" et "*Bryum argenteum*".
- Effectuer une comparaison entre les deux pouvoirs accumulateurs des mousses et des lichens concernant les HAP dans l'atmosphère de Bejaia.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons structuré notre manuscrit en trois chapitres suivants :

- Dans le chapitre 1 « Contexte Générale », nous avons fourni une vue d'ensemble théorique du contexte de notre recherche.
- Dans le chapitre 2, intitulé « Matériels et Méthodes », nous avons détaillé la zone d'étude, en fournissant des informations sur son environnement.
- Dans le chapitre 3 « Résultats et Discussion », nous présentons les données collectées.

# Chapitre 1 Contexte Générale

## Introduction

La pollution atmosphérique mondiale est devenue une préoccupation majeure en raison de ses effets substantiels sur la santé humaine et l'environnement. Pour évaluer et réduire ces impacts, il est essentiel de surveiller la qualité de l'air, en utilisant des bioaccumulateurs tels que les lichens et les mousses pour détecter les changements environnementaux. Dans ce contexte, ce chapitre introduit les fondements théoriques et conceptuels de la biosurveillance de la pollution atmosphérique, mettant en lumière son importance dans l'étude des sources de pollution et des variations spatiales. Nous explorerons également les méthodes et les techniques utilisées pour évaluer la qualité de l'air à l'aide de bioindicateurs, en mettant l'accent sur leur rôle dans la caractérisation des impacts environnementaux et dans le soutien à la prise de décision en matière de gestion environnementale.

## I. Pollution atmosphérique

Selon la loi de l'air, une pollution peut être la suivante « Constitue une pollution atmosphérique, l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives. » (Fintz, 2014).

En outre, la pollution de l'air se caractérise par une augmentation de la concentration de certaines substances au-delà des niveaux habituels, entraînant des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement environnant (Allag, 2016).

### I.1. Emissions et origines de polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques sont des substances étrangères qui ne sont pas naturellement présentes dans la composition de l'air (Haryanto, 2012) (tableau 1). Ils sont généralement divisés en deux catégories principales, telles que les polluants primaires qui sont émis directement par des sources identifiables (Mayer, 1999). et les polluants secondaires, qui se forment dans l'atmosphère par réaction entre les composés émis par les sources primaires, particulièrement en conditions météorologiques spécifiques (Barakeh, 2013).

La complexité de la pollution atmosphérique réside dans les sources variées, peuvent être soit naturelles (Colbeck, 2008) par activité volcanique (Boussouara, 2010), érosion éolienne ou marine (embruns marins) (Agnan, 2013). Soit par des sources anthropiques liée à l'activité humaine tels

que la production énergétique, métallurgique, les procédés industriels, le transport et le traitement des déchets;(Pacyna et Pacyna, 2001).

**Tableau 1.** Principaux polluants atmosphériques surveillés : leurs origines et effets

<i>Polluant</i>	<i>Origine d'émission</i>	<i>Principaux effets</i>
<b>Dioxyde soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Combustion de combustibles fossiles, industrie chimique	Irritation des voies respiratoires, acidification de l'air, formation de pluies acides
<b>Particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>)</b>	Combustion de combustibles fossiles, processus industriels, poussières naturelles	Problèmes respiratoires, aggravation des maladies cardiovasculaires, impact sur la visibilité
<b>Oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>)</b>	Émissions des véhicules, combustion industrielle	Irritation des voies respiratoires, formation de smog, contribution à la formation de pluies acides
<b>Ozone (O<sub>3</sub>)</b>	Reactions chimiques entre les oxydes d'azote et les COV en présence de lumière solaire	Irritation des voies respiratoires, problèmes respiratoires, dommages aux cultures
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Émissions des véhicules à combustion interne, combustion incomplète de combustibles fossiles	Intoxication, maux de tête, troubles neurologiques
<b>Composés organiques volatils (COV ou VOC)</b>	Émissions des solvants, carburants, peintures, industrie chimique	Contribuent à la formation de l'ozone troposphérique, irritations, impacts sur la santé
<b>Benzène</b>	Émissions des véhicules, industrie chimique, fumée de cigarette	Cancérogène, impacts sur le système nerveux central
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</b>	Combustion incomplète de combustibles fossiles, processus industriels	Cancérogène, impacts sur le système respiratoire
<b>Certains métaux (plomb, mercure, cadmium, etc.)</b>	Émissions industrielles, combustion de combustibles fossiles, déchets électroniques	Intoxication, effets neurologiques, dommages aux organes

## I.2. Echelle de pollution atmosphérique

L'étude de la pollution atmosphérique peut être perçue selon trois grandes échelles spatio-temporelles. Ces échelles sont en fonction du transport des polluants et par conséquent de leur durée de vie qui dépend de la stabilité des substances chimiques(Berrayah, 2016).

### I.2.1. Echelle locale

La pollution de proximité, se manifeste à un niveau local avec une échelle temporelle de l'ordre des heures, elle est principalement générée par des sources proches telles que les installations industrielles ou les véhicules. Son impact initial se fait sentir directement sur la santé des populations (Duché, 2014).

### I.2.2. Echelle régionale

L'échelle régionale, également appelée "mésos-échelle", est utilisée pour comprendre la pollution sur une zone de 100 à 1000 kilomètres et pour décrire la pollution transfrontalière (Masclat, 2005). Le niveau régional, ou la pollution à moyenne ou à longue distance, se manifeste sur une période de l'ordre des jours. Ce terme englobe généralement des phénomènes de pollution tels que les pluies acides, l'eutrophisation et la pollution photochimique (Duché, 2014).

## I.2.3. Echelle globale

À cette échelle, deux phénomènes majeurs de pollution ont été identifiés : la destruction de l'ozone stratosphérique, et le réchauffement climatique, causé par l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine humaine. À cette échelle, l'emplacement des émissions importe peu : tous les composés émis s'accumulent dans l'atmosphère et y persistent pendant plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, contribuant ainsi aux impacts planétaires (Lacour, 2009).

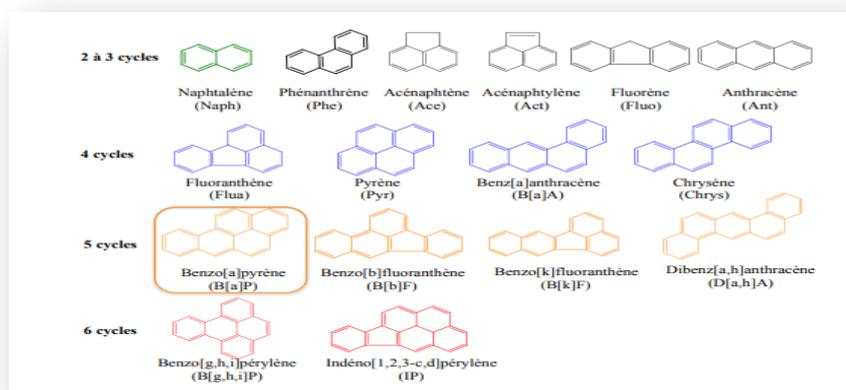
## II. Pollution atmosphérique par les HAP

Depuis plusieurs années, les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) ont attiré une attention considérable dans le domaine de la recherche (Benjaminet al ;2015).

### II.1. Structure et Formation des HAP

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont une famille de POP.(Foan, 2012), sont des composés neutres et apolaires, leur structure comprend deux ou plusieurs cycles benzéniques fusionnés entre eux(Genies, 2013).Leurs toxicité varie de faible à élever et peut entraîner divers effets néfastes sur la santé(Cancer, 2010).Ces composés sont des molécules de poids moléculaire très élevé .Ce qui contribue à leur persistance dans l'environnement, et à leur capacité à s'accumuler dans les organismes vivants. Plus le poids moléculaire des HAP augmente, plus ils sont persistants dans le milieu et plus ils sont solubles dans les tissus gras des organismes vivants et peuvent être bio accumulées en particulier par les organismes aquatiques de 10 à 10 000 fois selon les espèces (EFSA, 2008).

Les conséquences sanitaires des HAP sont telles que 16 d'entre eux ont été catalogués prioritaires par l'USEPA (United States Environmental Protection Agency) dès 1984(Figure1)(USEPA, 1984).



**Figure 1.** Structure chimique des 16 HAP classés prioritaires par l'US EPA (USEPA, 1984).

Dans l'atmosphère, les HAP de faible poids moléculaire (2-3 cycles) sont sous forme gazeuse alors que ceux de poids moléculaire élevé (5-6 cycles) sont adsorbés sur des particules fines, généralement entre 0,1 et 3  $\mu\text{m}$  de diamètre en raison de leur hydrophobicité et de leur faible volatilité. Enfin, les HAP de poids moléculaire intermédiaire (4 cycles) vont être répartis entre les deux phases (Ineris *et al* ;2005). Ces substances sont examinées en raison de leurs caractéristiques, de leur nocivité et de leur capacité à rester dans l'environnement sur le long terme. Leur présence est détectée dans tous les aspects de l'environnement (Golly, 2014).

## II.2. Caractéristiques Physico-chimiques

Les HAP sont des composés semi-volatils dont l'occurrence et la distribution dans les différents compartiments de l'environnement sont conditionnées par leurs caractéristiques physico-chimiques:

- La pression de vapeur ( $P_{vap}$ ) informe sur la volatilité des composés, c'est-à-dire leur aptitude à se volatiliser ou à rester en phase gazeuse.
- La constante de Henry (KH) est caractéristique de l'équilibre entre la phase gazeuse et aqueuse.
- La solubilité (sol) exprime l'affinité d'un composé pour la phase aqueuse (c'est-à-dire son caractère hydrophile).
- Le coefficient de partage octanol-eau ( $K_{ow}$ ) reflète l'affinité d'un composé pour la matière organique (c'est-à-dire son caractère lipophile). (Foan, 2012).

## II.3. Sources d'émissions des HAP dans l'atmosphère

L'inventaire des sources et la quantification des émissions de HAP dans l'atmosphère est une des parties les moins bien connues de la recherche concernant la distribution globale et leur devenir dans l'environnement (Breivik, 2006), Les sources d'émissions des HAP sont variées (IARC, 2010) ou ils ont deux principales origines sur la surface de la planète (Khelill, 2016).

### II.3.1. Source Naturelle

En premier lieu, Les HAP peuvent être générés par l'évolution naturelle de la matière organique à l'échelle du cycle géologique du carbone organique. Ce processus survient lors de la diagénèse et de la catagenèse, des processus géologiques qui conduisent à la formation de pétrole ou de charbon. (Khelill, 2016).

### II.3.2. Sources Anthropiques

En deuxième lieu, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont également générés par la combustion de matière organique, qu'elle soit fossile ou récente. Lors de ce processus de

combustion, des composés incomplètement brûlés, sont produits en plus du dioxyde de carbone et de l'eau. Ces imbrûlés subissent ensuite des réactions chimiques pour former des hydrocarbures aromatiques polycycliques..(Khelill, 2016).

## **II.4. Transport et devenir dans l'environnement**

Après émission dans l'atmosphère, les HAP sont dispersés et peuvent être transportés sur de longues distances par les mouvements de masse d'air.(Foan, 2012).Leur devenir dépende en grande partie de leurs caractéristiques et des conditions météorologiques (Finlayson-Pitts et al ; 2000).Les HAP déposés sur le milieu continental peuvent atteindre le milieu marin par lessivage des sols, puis par les transports fluviaux. Dans le milieu aquatique, les HAP se trouvent sous forme dissoute. Les polluants sont ensuite transférés aux sédiments où ils sont principalement adsorbés sur les particules mais peuvent également être dissous dans l'eau interstitielle. Enfin, leur caractère lipophile leur permet d'être facilement absorbés puis accumulés ou transformés par les êtres vivants et ainsi être transférés dans les différents niveaux des chaînes trophiques jusqu'à l'homme (Le Corfec, 2011).

## **II.5.Relation des HAP avec les PM**

Les aérosols, constitués de particules solides et liquides en suspension dans l'air, présentent une grande variété en termes d'origines, ce sont des microparticules, soit PM10, de taille inférieure à 10  $\mu\text{m}$  ,soit PM2, 5, inférieures ou égales à 2,5  $\mu\text{m}$  (Mathé, 1998), Ils peuvent servir de vecteurs pour des composés toxiques comme les HAP(Merabet, 2021),ou Les HAP peuvent s'adsorber à la surface des particules atmosphériques,(Guillon, 2011).

## **II.6.Surveillance de la qualité de l'air**

La surveillance de la qualité de l'air est devenue essentielle dans les efforts déployés par diverses organisations pour lutter contre la pollution,(Schneider, 1978).Afin de formuler des normes sur la qualité de l'air a l'échèle régional, national ou international, ii faut déterminer continuellement cette qualité, de façon fiable et régulière, si l'on veut que les normes soient respectées. On emploie l'expression « surveillance de la qualité de l'air » pour désigner les méthodes permettant de déterminer les caractéristiques de l'atmosphère, notamment la concentration des polluants, de façon à pouvoir satisfaire aux conditions fixées pour la gestion de la qualité de l'air.(Rossano &. Thielke, 1978).

## **II.7. Méthodes de surveillance**

Le suivi des concentrations de polluants dans l'air peut être effectué par différentes méthodes. Les capteurs traditionnels, bien que coûteux et ayant une faible densité spatiale, sont précis et fiables

pour évaluer la qualité de l'air grâce à leurs capteurs spécialisés. Les capteurs mobiles, en revanche, offrent une couverture spatiale supérieure en mesurant la qualité de l'air en temps réel à divers points géographiques, mais leur précision est souvent moindre. La télédétection, telle que l'imagerie satellite, permet de mesurer la qualité de l'air à grande échelle et de détecter les concentrations de polluants atmosphériques ainsi que les émissions de gaz à effet de serre, offrant une couverture mondiale mais limitée en résolution spatiale et temporelle. En outre, la modélisation utilise des techniques mathématiques pour estimer les concentrations de polluants dans une zone donnée à l'aide de représentations algorithmiques des phénomènes physiques, chimiques ou biologiques (Rossano et Rolander, 1978; Pierre, 2013). Finalement, face à ces contraintes, la biosurveillance végétale émerge comme une alternative séduisante aux méthodes traditionnelles utilisant des instruments de mesure (Garrec et Van Haluwyn, 2002)

### **III. Bio surveillance de la qualité de l'air**

La bio surveillance de la qualité de l'air est une méthode complémentaire aux approches physiques et chimiques de mesure. Elle se concentre spécifiquement sur les effets des polluants dans les conditions d'exposition naturelles des écosystèmes. (Elichegaray, 2008).

#### **III.1. Définition et méthodes**

Garrec et Van Haluwyn (2002) définissent la bio surveillance comme « l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution » (Garrec et Van Haluwyn, 2002). et par l'AFNOR récemment définie comme l'utilisation de systèmes biologiques (organismes et communautés d'organismes) pour suivre les changements de l'environnement dans l'espace et/ou dans le temps (Damien, 2018)..

#### **III.2. Principe de la bio surveillance**

La bio surveillance s'appuie sur la capacité de certains organismes à réagir à l'exposition à un ou plusieurs polluants, (Garrec et Van Haluwyn, 2002). Ces réactions peuvent être observées par des changements dans l'organisme lui-même ou au niveau de la communauté, ainsi que par des variations de concentration de certaines substances dans les tissus (Khelill, 2016).

La biosurveillance englobe un ensemble de méthodes qui se basent sur l'observation des altérations fonctionnelles chez les êtres vivants. (Markert et al :2003).

En général, on distingue deux principes de bio surveillance :

## III.2.1. Bio surveillance dite sensible

Ce type de bio surveillance utilise des organismes qui répondent au stress causé par la pollution.

La mesure de cette sensibilité définit trois concepts :

○ **Biointégration** : La disparition d'une espèce, un changement dans son abondance relative, ou des modifications dans la structure des peuplements végétaux dans un écosystème indiquent tous des altérations dans l'environnement de cette espèce, (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

La Biointégration consiste à examiner la présence ou l'absence d'espèces réputées sensibles ou tolérantes à divers polluants. Elle peut être considérée comme de la bio indication à un niveau supérieur (il y a en effet souvent confusion entre ces deux termes),(Agnan, 2013).

○ **Bioindication**: La bio indication désigne l'observation des réponses biologiques au niveau individuel (telles que des réponses morphologiques, physiologiques ou comportementales) ou au niveau d'une communauté d'individus (engendrant des modifications structurelles) suite à un stress environnemental. (Hugo, 2022).

○ **Biomarquage** : Le bio marquage se réfère à l'utilisation de paramètres biologiques, appelés bio marqueurs, au niveau subindividuel, (ex : activation d'un gène, synthèse d'une enzyme, etc.), pour indiquer la réponse physiologique d'un organisme à son environnement. Selon le bio marqueur spécifique utilisé, cette méthode peut être quantitative ou qualitative. (Hugo, 2022).

## III.2.2. Bio surveillance par accumulation

Selon Ramade, la bioaccumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire même si elle est toxique à ce dernier.(Ramade, 2002).

Cette méthode évalue les niveaux de divers polluants en utilisant ces bios accumulateurs comme matrice de dosage, offrant ainsi une indication de la qualité environnementale. (Agnan, 2013).

Le dosage des polluants peut s'effectuer :

-Soit par analyse des polluants eux-mêmes, après l'extraction de ceux-ci par un solvant des surfaces foliaires et l'utilisation de méthodes chromatographiques appropriées.

-Soit par l'analyse des éléments minéraux contenus dans les polluants organiques (le chloroforme par exemple), après l'extraction de ceux-ci des surfaces foliaires par un solvant organique, ou dans les feuilles entières après réduction en poudre de celle-ci.(Garrec et Van Haluwyn, 2002).

La bio surveillance par accumulation utilise des organismes capables de stocker les polluants dans leurs tissus suite à des mécanismes de fixation et/ou de transfert, agissant comme des bioaccumulateurs(Durif et Vandamme, 2004).

Le bioaccumulateurs doit répondre à plusieurs spécifications essentielles : il doit accumuler les polluants sans disparaître, fournir suffisamment de tissus pour l'analyse, avoir un facteur de concentration suffisant pour être analysé directement sans pré-concentration, et présenter une concentration tissulaire du polluant représentative du niveau de contamination de l'environnement(Durif et Vandamme, 2004).

### III.3.Stratégies de la bio surveillance

La bio surveillance englobe toute utilisation d'un organisme sensible à son environnement pour refléter ce dernier, que ce soit par prélèvement direct depuis le milieu (bio surveillance passive) ou par la transplantation d'échantillons (bio surveillance active)(tableau 3)(Garrec et Van Haluwyn, 2002). .

Les organismes utilisés peuvent se développer naturellement dans le milieu étudié, mais dans certains cas, lorsque ces organismes sont absents, on peut les introduire par transplantation.(Damien, 2018).

#### III.3.1. Bio surveillance in Situ

La méthode in situ, aussi connue sous le nom de bio surveillance passive, repose sur l'utilisation des végétaux déjà présents sur le site d'étude,(Khelill, 2016).Elle a l'avantage d'être rapide. En effet, les végétaux ayant déjà été exposés aux polluants, il ne reste plus qu'à les collecter et à les analyser. On doit cependant veiller à ce qu'ils aient : Une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentatifs de la zone étudiée. Une saisonnalité compatible avec les objectifs de la campagne de mesure. Un mode de collecte facile, (Berrayah,2016).

#### III.3.2.Méthode des transplants

L'approche des transplants, aussi nommée bio surveillance active, utilise des végétaux préalablement sélectionnés et cultivés sur le site d'étude, ce qui permet d'explorer des zones dépourvues de végétation naturelle (*Garrec et Van Haluwyn, 2002*),en transplantant des plantes depuis des zones non polluées (Szczepaniak et Biziuk, 2003) Le temps d'exposition est bien défini, mais l'efficacité de l'absorption des polluants peut être altérée par les changements climatiques,(Khelill, 2016).

Pour interpréter les résultats, il est nécessaire de déterminer les concentrations initiales en polluants avant l'exposition et de les comparer aux concentrations après exposition pour évaluer les quantités d'éléments déposées pendant cette période. (Durif etVandamme, 2004).

**Tableau 2.** Comparaison entre la bio surveillance passive et active.

	<i>Bio surveillance active (transplant)</i>	<i>Bio surveillance passive (in situ)</i>
<b>Avantage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de l'échantillonnage.</li> <li>- Calibration des individus utilisés (âge, sexe, taille).</li> <li>- Connaissance sur les antécédents de la population d'origine.</li> <li>- Suppression des impacts liés au prélèvement.</li> <li>- Standardisation possible pour une espèce modèle donnée.</li> <li>- Conditions d'exposition connues.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de mise en œuvre.</li> <li>- Cout plus faible.</li> <li>- Intégration de la contamination sur le long terme (chronique).</li> <li>- Existence de programmes à large échelle (mieux dans les milieux urbains)</li> </ul>
<b>Limites</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts élevés (temps, matériel).</li> <li>- Choix plus limité de l'espèce modèle.</li> <li>- Facteurs confondants (température, physico-chimie, saison ...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impossibilité de calibrer les individus échantillonnés (âge, sexe, taille).</li> <li>- Incertitudes liées à la mobilité des individus et au temps réel d'exposition dans le milieu.</li> <li>- Capacité d'adaptation des individus lors d'une exposition chronique.</li> </ul>

### III.4. Bio surveillance par les végétaux

Les végétaux constituent des outils précieux pour la bio surveillance, (Ait Hammou et al ; 2011).offrant une variété d'organismes tels que les lichens, les bryophytes et les plantes supérieures. (Garrec, 2007)..Cette approche, appelée bio surveillance végétale et fongique, (Damien, 2018).

#### III.4.1. Bio surveillance par lichens

Avec une diversité de 25 000 espèces, les lichens couvrent environ 6 % de la surface terrestre, comme l'indique (Nash T. , 2008).

Le terme « Lichen » dérive du grec ancien et faisait référence aux plantes qui se développaient sur les troncs d'arbres, auxquelles on attribuait des vertus médicinales à cette époque (Ozenda et Clauzade , 1970).

Les lichens ne sont pas un organisme unique, mais une association de deux organismes différents vivant en relation étroite appelée symbiose. L'un des partenaires est un champignon, ou

mycobionte, et le second une algue ou phycionte, Ils sont considérés comme étant des thallophytes car ils ne possèdent ni tiges, ni racines, et ne sont pas vascularisés. (Berrayah, 2016).

Les lichens prélèvent l'eau et les éléments nutritifs directement de l'atmosphère. Ils peuvent donc aussi absorber d'autres substances comme les polluants atmosphériques qui sont accumulés dans les tissus (Wolterbeek, 2002).

### **III.4.1.1. Critères écologiques des lichens**

Les lichens ont une distribution étendue sur la surface terrestre, se développant dans une variété de milieux et sur divers substrats naturels ou artificiels, tels que les roches, la terre, l'écorce, ainsi que des surfaces comme les tuiles, béton et le verre. Ils peuvent même se retrouver sur des surfaces inhabituelles telles que les coquilles de gastéropodes ou les carapaces de tortues (Van Haluwyn, et Lerond, 1993).

La distribution des lichens est affectée par plusieurs facteurs environnementaux, notamment l'eau, la lumière, la température et l'humidité. L'eau est particulièrement importante car elle déclenche le phénomène de reviviscence, passant les lichens d'un état de vie ralentie à une activité active (Hugo, 2022). Leur croissance est très lente, allant de 0,1 à 10 mm par an, avec une vitesse plus élevée en été et sur des substrats riches, mais plus lente en hiver. Certaines espèces à la longévité exceptionnelle, telles que *Rhizocarpon geographicum*, sont d'ailleurs utilisées en paléoclimatologie afin de dater l'âge d'exposition des roches depuis le retrait de glaciers (Bradwell, 2010).

### **III.4.1.2. Usage des lichens comme Bioaccumulateurs**

Depuis des années, les lichens du fait de certaines de leurs caractéristiques biologiques, (Ozenda, 1990), se montrent sensibles à la pollution atmosphérique, ce qui en fait des indicateurs précieux de la qualité de l'air (Conti et Cecchetti, 2001).

Leur abondance et diversité dans l'environnement, en plus leur capacité spécifique pour absorber et accumuler ce type de polluant dans l'air associée à leur longévité et leur résistance au stress environnemental les ont rendus appropriés pour l'étude et l'évaluation de la qualité de l'air (Bargagli, 1993).

Comme bioaccumulateurs de la pollution de l'environnement, les lichens présentent plusieurs avantages

-Ils ont une large distribution géographique. Ils ont une croissance lente et conservent une morphologie relativement uniforme sur une longue période de temps (Ahmadjian, 1993).

-Ils peuvent accumuler de nombreux composés à des concentrations élevées en raison de l'absence de cire et de stomates sur la surface des thalles du lichen ce qui permet la diffusion de contaminants dans les tissus.

-Ils perdent de l'eau par évaporation pendant les périodes sèches ce qui peut conduire à la concentration des polluants et donc à une augmentation de leur sensibilité.

-Ils peuvent avoir une activité photosynthétique (une cible principale de la pollution) à basse température et sont par conséquent, sensibles tout au long de l'année (Nash, 1996b; Gries, 1996).

-Ces organismes ont la spécificité de synthétiser des acides lichéniques capables de complexer les éléments inorganiques, ce qui favorise la capture des éléments présents dans l'atmosphère. (Agnan, 2013).

-Les lichens, Contrairement aux plantes, ils ne possèdent ni cuticule, ni système racinaire, ni mécanisme d'excrétion ou de régulation des échanges gazeux. Malgré ces différences, les lichens forment des populations stables et durables et pérennes (Agnan, 2013).

### **III.4.2. Bio surveillance par les Mousses**

.Les mousses présentent un certain nombre de particularités, qui sont très utiles pour l'étude des micropolluants, elles accumulent dans leurs tissus des quantités importantes de polluants, qu'elles prélèvent à partir du substrat, de l'atmosphère ou de l'eau (Loppi et Bonini, 2000).

Les bryophytes, communément appelées "mousses», constituant un groupe essentiel pour appréhender l'évolution des plantes terrestres. (Silva et Cailliau, 2018), Le terme "bryophyte" dérive de "bryo-" (signifiant « mousse ») et "-phyte" (signifiant « plante ») (Foan, 2012), Les mousses, sont les bryophytes les plus communs. Elles se distinguent par leur petite taille et autotrophes (Fabure, 2009), leur absence de racines et de vaisseaux conducteurs, et ne dépassent souvent que quelques centimètres de hauteur. Présentes sur toute la surface terrestre, des régions équatoriales aux régions polaires, en plaine comme en montagne, chaque espèce de bryophyte possède généralement une aire géographique restreinte en raison de ses exigences écologiques spécifiques (Berrayah, 2016).

#### **III.4.2.1. Ecologie des mousses**

La plupart des mousses préfèrent les environnements humides, certaines espèces sont aquatiques tandis que d'autres prospèrent dans des environnements secs et ensoleillés (Maizi, 2012). Un trait notable des mousses est leur capacité de reviviscence, qui leur permet de survivre à des périodes de sécheresse en suspendant leurs fonctions jusqu'à ce qu'il pleuve à nouveau. (Berrayah, 2016).

Les mousses sont des végétaux peu photophiles qui préfèrent les environnements ombragés comme les sous-bois et les troncs d'arbres. Leur photosynthèse équilibre leur respiration à des niveaux d'intensité lumineuse plus faibles. (Bouregghda, 2004).

La reviviscence favorise la résistance des mousses à des grandes amplitudes thermiques, Par exemple les espèces bryales résistent à 30°C tandis que celles des roches ensoleillées supportent des températures de l'ordre de +80°C (Berrayah, 2016).

### **III.4.3. Usage comme Bio accumulateurs**

Les mousses sont couramment employées pour détecter la pollution atmosphérique d'origine humaine, étant particulièrement sensibles à leur environnement (Maizi, 2012). En tant que bio accumulateurs de pollution, ces petites plantes sont capables de prélever des quantités significatives de métaux lourds du substrat, de l'atmosphère ou de l'eau (Dupont et Guignard, 2012). Leur utilisation est répandue dans certains pays pour surveiller et réguler la pollution environnementale (Kermia et Yahiaoui, 2017).

Leur feuillage perpétuellement vert et leur présence abondante tout au long de l'année facilitent leur collecte, permettant ainsi de comparer les concentrations de polluants entre différentes régions, même éloignées, en utilisant diverses espèces de mousses (Berrayah, 2016).

En outre, l'absence de système racinaire et de cuticule chez les mousses leur permet d'absorber efficacement la plupart des nutriments et de l'eau par voie aérienne, favorisant ainsi une accumulation importante de polluants atmosphériques en raison de leur rapport surface sur volume élevé. Leur capacité d'échange cationique élevée contribue également à l'accumulation des polluants minéraux tels que les métaux lourds (Foan, 2012).

### **III.5. Avantages et limites de la bio surveillance**

Les utilisations de la biosurveillance sont nombreuses et variées : Estimation des retombées atmosphériques de métaux à différentes échelles : l'air intérieur des locaux, au niveau local, national et international ; Estimation de l'impact autour d'infrastructures routières : études de la qualité de l'air en zone urbaines ; Estimation de l'impact d'une installation ; biosurveillance des métaux lourds ; Etudes préliminaires (cartographie) en vue d'études classiques ultérieures pour localiser judicieusement les futurs points de prélèvements (pluviomètres, échantillonneur d'air etc.). Identification des sources atmosphériques de métaux lourds par le biais de mousses ou de lichens (Salines et Boudet, 2011).

Les principaux avantages qu'offre la bio surveillance sont :

- une approche globale : en étudiant la réponse biologique, l'ensemble des contaminants du milieu est pris en considération, en intégrant à la fois la dimension temporelle et la dimension spatiale, approche complémentaire aux capteurs physico-chimiques,

- une simplification protocolaire : la bio surveillance passive ne nécessite pas d'anticipation particulière ; seule une récolte du matériel biologique ubiquiste est réalisée au moment souhaité, facilitant l'accessibilité des données.

Elle permet d'évaluer l'impact des polluants sur les écosystèmes terrestres, en utilisant des méthodes allant de l'observation des communautés végétales à l'analyse de la physiologie et de l'expression génique. Cette discipline demeure dynamique et adaptable face aux défis contemporains, notamment ceux liés aux changements climatiques (Damien, 2018).

## ***Conclusion***

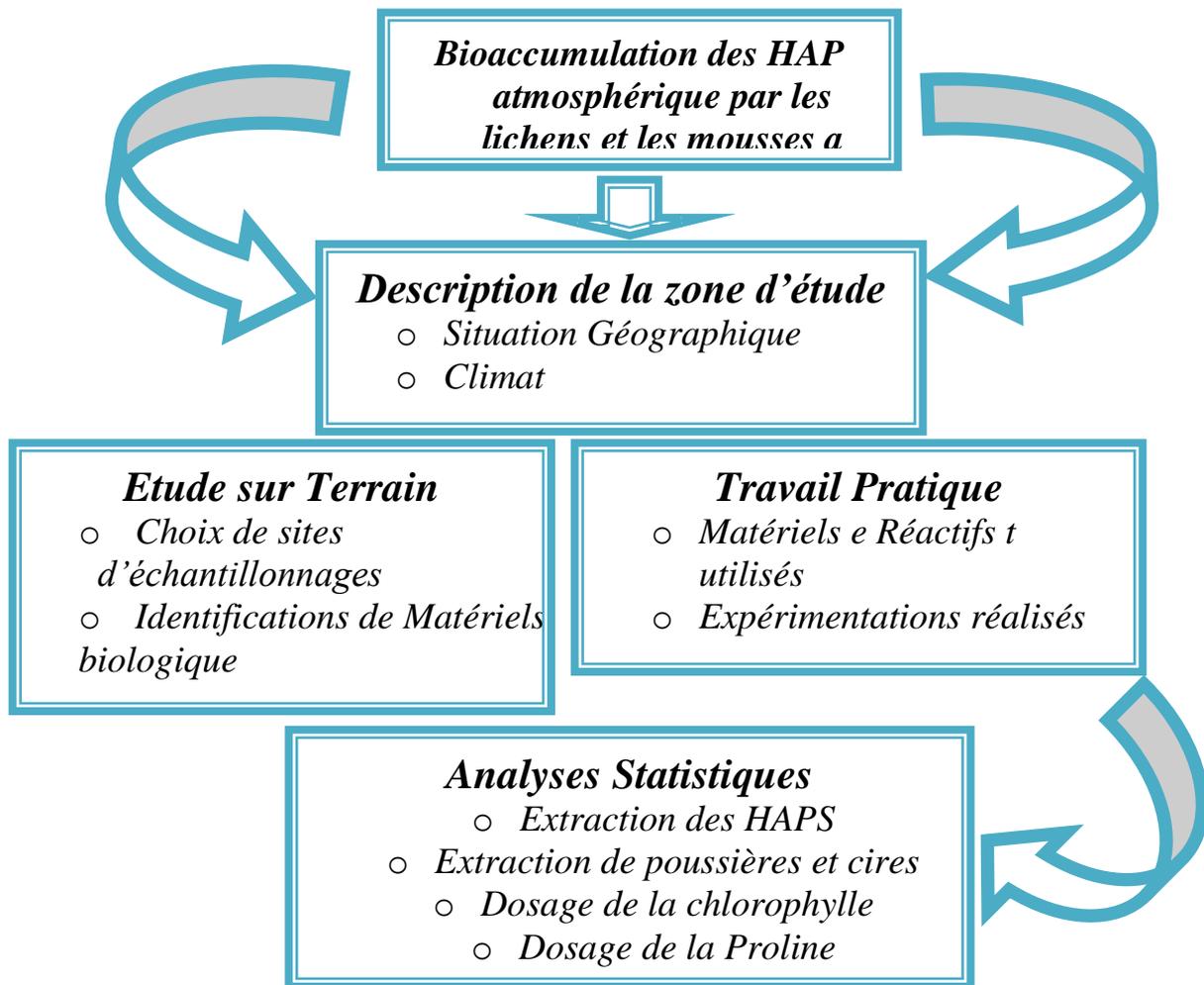
En conclusion, la biosurveillance offre une perspective unique et complémentaire aux méthodes conventionnelles de surveillance de la qualité de l'air. Elle renforce notre capacité à évaluer et à atténuer les effets de la pollution atmosphérique, contribuant ainsi à une gestion plus efficace et durable de notre environnement.

# *Chapitre 2 Matériels et Méthodes*

## Introduction

Dans notre étude, nous consistons à analyser les hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP) Atmosphérique bio accumuler dans les lichens de l'espèce *Xanthoria parietina* et les mousses de l'espèce *Bryum argenteum*, ainsi que leur influence sur leurs paramètres physiologiques tels que la chlorophylle et la proline. Les échantillons sont été prélevés dans la région de Bejaïa.

Dans le but de réaliser nos objectifs de recherche, nous avons mis en place un plan de travail structuré, lequel est représenté dans le schéma ci-dessous :



**Figure2.** Schéma récapitulant le chapitre matériels et méthodes.

## I.Description de la zone d'étude

Bejaia est une ville algérienne, située sur la côte méditerranéenne de l'Algérie. Historiquement, Bejaia a joué un rôle important depuis l'antiquité en tant que port commercial prospère, connu sous le nom de "Bougia" à l'époque médiévale.

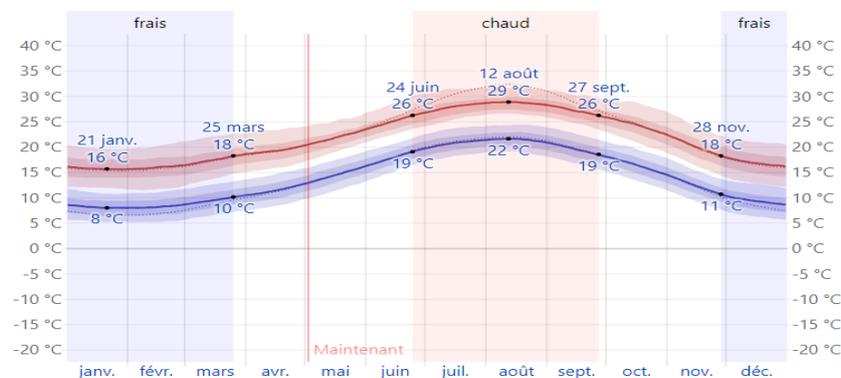
## I.1. Situation Géographique

Bejaia se situe au cœur de la région méditerranéenne de l'Algérie, à équidistance des villes d'Alger, de Tizi Ouzou et de Bouira, à environ 60 kilomètres de chaque. La ville est traversée par plusieurs axes de communication majeurs, notamment l'oued Soummam, la RN12 (Route Nationale 12) et la voie ferrée qui relie les principales villes de l'est algérien telles que Bouira, Bejaia, Sétif, Constantine, Batna, et d'autres.

## I.2. Climat de Bejaia

### I.2.1. Température

À Bejaia, les étés sont chaud, lourd, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont long, frisquet, précipitation et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 8 °C à 29 °C et est rarement inférieure à 5 °C ou supérieure à 32 °C.



**Figure 3.** Température moyenne à Bejaia. (Source : fr.weatherspark.com).

La saison chaude dure 3,1 mois, du 24 juin au 27 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 26 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Bejaia est août, avec une température moyenne maximale de 29 °C et minimale de 21 °C.

La saison fraîche dure 3,9 mois, du 28 novembre au 25 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 18 °C. Le mois le plus froid de l'année à Bejaia est janvier, avec une température moyenne minimale de 8 °C et maximale de 16 °C.

### I.2.2. Vent

La vitesse horaire moyenne du vent à Bejaia connaît une variation saisonnière considérable au cours de l'année. Ou a période la plus venteuse de l'année dure 4,9 mois, du 27 octobre au 24 mars, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 12,3 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Bejaia est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 14,8 kilomètres par heure. Et la période la plus calme de l'année dure 7,1 mois, du 24

mars au 27 octobre. Le mois le plus calme de l'année à Bejaia est juin, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 9,6 kilomètres par heure.

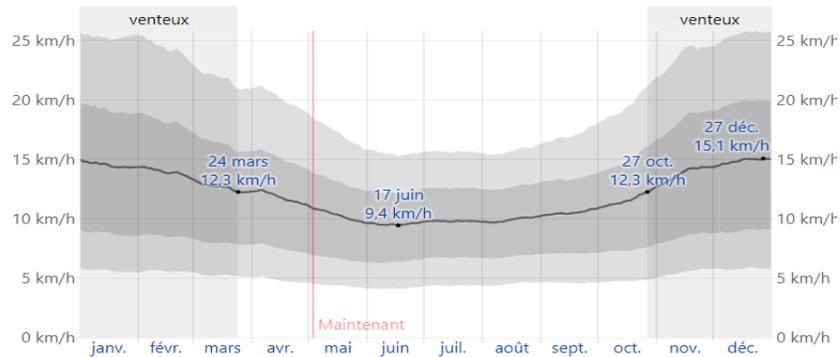


Figure 4. Vitesse moyenne du vent à Bejaia (Source : fr.weatherspark.com).

### I.2.3. Humidité

Bejaia connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 4,6 mois, du 27 mai au 15 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 21 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Bejaia est août, avec 25,2 jours lourds ou plus accablants. Le jour le moins lourd de l'année est le 27 février, avec un climat lourd quasiment inexistant.

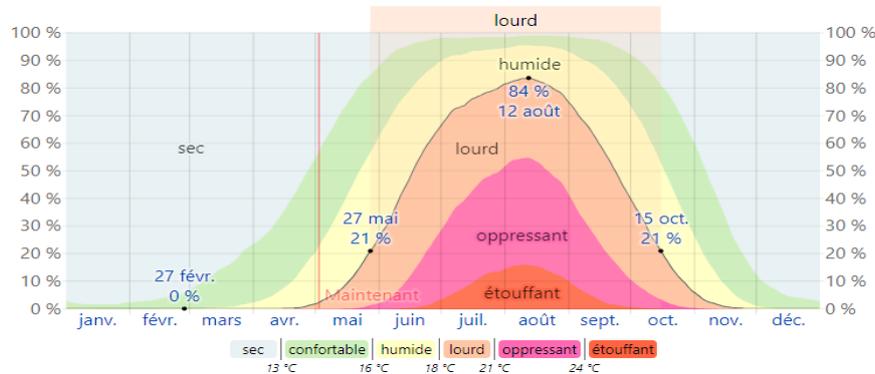


Figure5. Niveaux de confort selon l'humidité à Bejaia (Source : fr.weatherspark.com).

Nous estimons le niveau de confort selon l'humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration s'évaporerait de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.

### I.2.4. Précipitation

La saison connaissant le plus de précipitation dure 8,1 mois, du 11 septembre au 15 mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 16 %. Le mois ayant le plus grand nombre de jours de précipitation à Bejaia est décembre, avec une moyenne de 8,8 jours ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

La saison la plus sèche dure 3,9 mois, du 15 mai au 11 septembre. Le mois ayant le moins de jours de précipitation à Bejaia est juillet, avec une moyenne de 1,0 jour ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

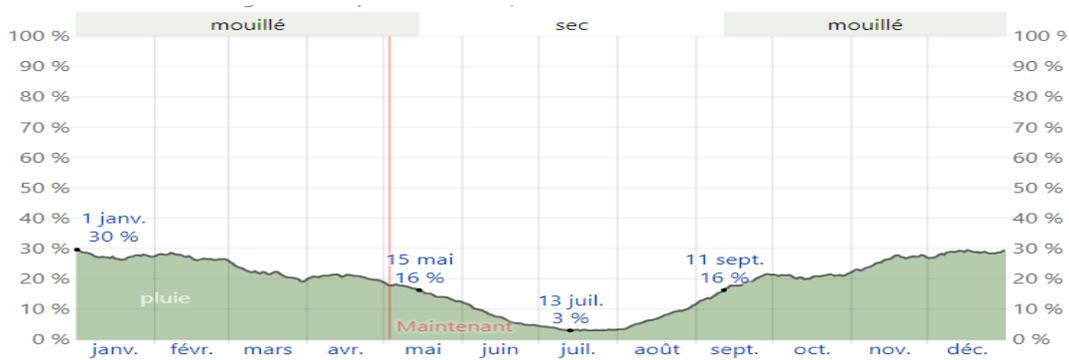


Figure 6. Probabilité de précipitation quotidienne à Bejaia (Source : fr.weatherspark.com).

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. Le mois avec le plus grand nombre de jours de pluie seulement à Bejaia est décembre, avec une moyenne de 8,8 jours. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la pluie seulement, avec une probabilité culminant à 30 % le 1 janvier.

### I.2.5. Topographie

Les coordonnées géographiques pour Bejaia sont 36,756° de latitude, 5,084° de longitude et 86 m d'altitude. La topographie dans les 3 kilomètres entourant Béjaïa présente des variations considérables de l'altitude, avec une variation de l'altitude de 643 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 84 mètres. Dans les 16 kilomètres, variations considérables de l'altitude (1 006 mètres). Dans les 80 kilomètres, présente également des variations extrêmes de l'altitude (2 003 mètres).

La région dans un rayon de 3 kilomètres de Bejaia est couverte par de l'eau (44 %) et des surfaces artificielles (35 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des de l'eau (59 %) et des

terres cultivées (14 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par des de l'eau (48 %) et des terres cultivées (26 %). (Source : *fr.weatherspark.com*).

## II. Travail du Terrain

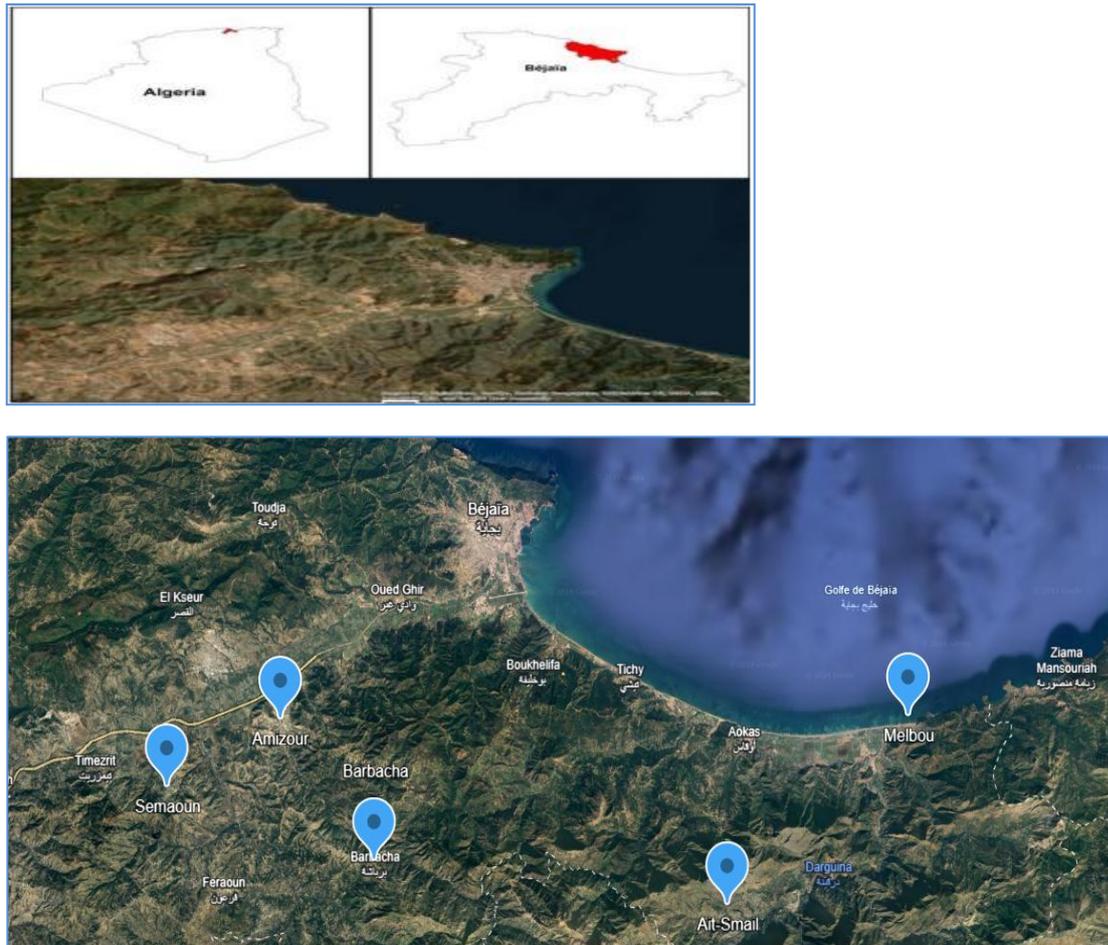
Dans notre étude de surveillance biologique, nous avons opté pour la méthode passive en utilisant des lichens et des mousses prélevés dans différentes zones de la wilaya de Bejaia. Ces organismes sont utilisés comme des bioaccumulateurs de la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'air, afin d'évaluer le niveau de pollution atmosphérique dans la région.

### II.1. Choix des sites d'échantillonnage

Pour l'échantillonnage, nous avons effectué des prélèvements dans cinq stations, comme présenté dans le tableau 3. À chaque station, nous avons sélectionné trois sites pour collecter des échantillons de lichens et trois sites pour collecter des échantillons de mousses. Au total, nous avons obtenu 30 échantillons, répartis en 15 échantillons de lichens et 15 échantillons de mousses.

**Tableau 3 :** Caractéristiques des points d'échantillonnage

<i>Stations</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Longitude (N)</i>	<i>Latitude (E)</i>
<i>Samaoune</i>	618,9886584	5,1060527°	36,6495074°
<i>Amizour</i>	148,0764390	4,9376369	36,6448089
<i>Barbacha</i>	477,2634378	4,9557104	36,5630683
<i>Melbou</i>	172,7667120	5,3763015	36,6402630
<i>Ait Smail</i>	827,4695961	5,2231935	36,5535014



**Figure7.** Localisation des stations d'échantillonnage au niveau de Bejaia (Google earth, 2024).

## II.2. Identification de Matériels biologique

Le matériel végétal utilisé dans les diverses expérimentations de cette étude est les lichens de l'espèce *Xanthoria parietina* et les mousses De l'espèce « *Bryum argenteum* ». Afin d'effectuer leur identification, nous avons utilisé l'application "PlantNet", suivie de la validation de cette identification à l'aide d'un guide de classification disponible à la bibliothèque.

Pour *Xanthoria parietina* a un thalle de grande taille, jaune orange, formé de petites feuilles aplaties de 1 à 5 mm de large .Recouvert de nombreuse apothécies de couleurs orange .largement répandu et abondant, sur écorces, bois et roches.

Pour *Bryum argenteum* Plante non ramifiées ou dichotomes, de 0,5à1,5 cm de long, en gazon ras et dense .Feuilles ovoïdes ,se rétrécissant progressivement et se recouvrant partiellement comme les tuiles d'un toit, de telle manière que la tige .feuillée prend l'aspect d'un chaton .Nervure dépassant à peine le milieu de la feuille .Coussinet blanc argenté par la présence de très nombreux poils foliaires hyalins, ou alors de couleur toute verte dans les stations humides

et ombragées. Nombreuses formes, sur calcaire sec ou humide, sur sable ou gravier, sur murs et entre les pavés des routes. Largement répandue et abondantes depuis la plaine jusqu'au delà la limites des neiges.

### ***Classification de Xanthoria parietina***

Règne : Fungi  
 Division : Ascomycot  
 Sous-embranchement : Pezizomycotina  
 Classe : Lecanoromycetes  
 Ordre : Teloschistale  
 Famille : Teloschistacea  
 Genre : Xanthoria  
 Espèce : parietina



### ***Classification de Bryum argenteum***

Règne : Plantae  
 Division : Bryophyt  
 Sous-embranchement : Musci  
 Classe : Bryopsida  
 Sous classe : Bryidae  
 Ordre : Bryales  
 Famille : Bryaceae  
 Genre : Bryum  
 Espèce : *argenteum*



Dans le cadre de notre étude, nous avons divisé nos expérimentations en quatre parties distinctes : Extractions des HAP, et des poussières et des cires « PM » ; et le Dosage de la chlorophylle et de la proline.

La majeure partie des travaux de laboratoire de notre étude a été réalisée au Laboratoire Biomathématique, Biophysique, Biochimie et Scientométrie (L3BS). Cependant, l'extraction des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) a été effectuée au laboratoire pédagogique de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) à Bouira.

### **III.1. Matériels utilisés**

Pendant notre recherche, nous avons utilisé différents équipements à la fois sur le terrain et en laboratoire. Sur le terrain, nous avons employé des sachets en papier, un glacier, du coton, un marqueur et un GPS. En laboratoire, notre matériel incluait une balance, une étuve, du papier

filtre, diverses verreries de différentes tailles, des tubes à essais, des tubes à épinoche, des fioles de Jogerbécher, un appareil de Soxhlet, des cartouches en cellulose et un spectrophotomètre.

### III.2. Réactifs utilisés

Pour garantir le bon déroulement de notre recherche, nous avons utilisé les réactifs illustrés dans le tableau suivant :

**Tableau 4** : Réactifs utilisés dans chaque extraction et leur quantité dans chaque protocole.

<i>Extractions /Dosage</i>	<i>Réactifs</i>	<i>Quantités</i>
<b>Les HAP</b>	<i>Hexane</i>	<i>60ML</i>
	<i>Acétone</i>	<i>60ML</i>
<b>Poussière et cire</b>	<i>Chloroforme</i>	<i>20ML</i>
<b>La chlorophylle</b>	<i>Acétone</i>	<i>80ML</i>
	<i>Carbonate de Calcium</i>	<i>Penser</i>
	<i>Eau distillé</i>	<i>20ML</i>
<b>La proline</b>	<i>Méthanol</i>	<i>3ML</i>
	<i>Acide Acétique</i>	<i>30ML</i>
	<i>Acide Ortho phosphorique</i>	<i>2,5ML</i>
	<i>Ninhydrique</i>	<i>2,5Mg</i>
	<i>Toluène</i>	<i>5ML</i>

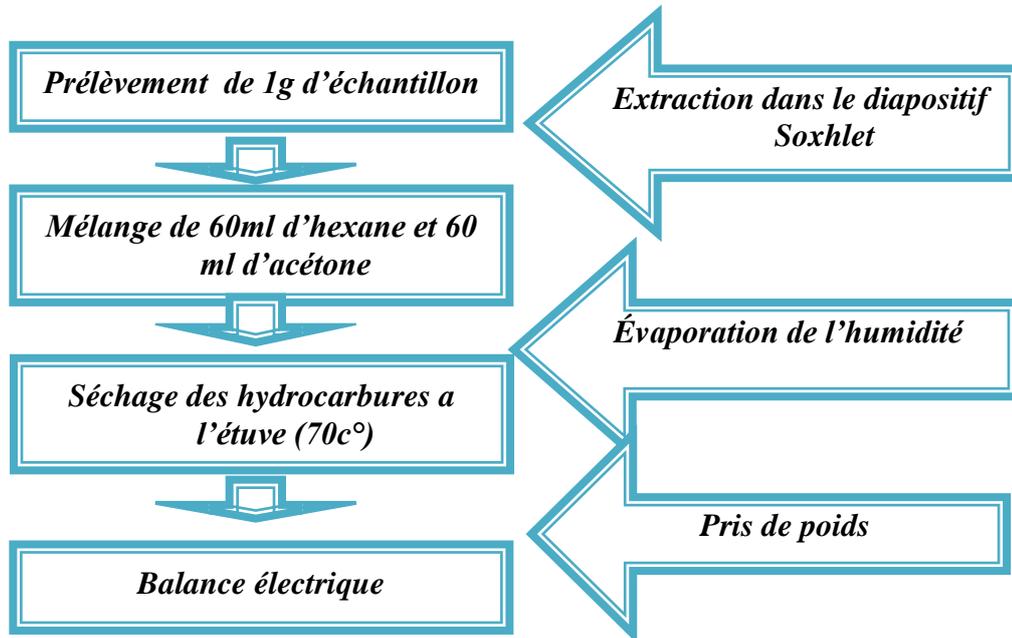
### III.3. Extractions des HAP avec la méthode de Soxhlet

Pour extraire les HAP de nos échantillons, nous avons choisi la méthode d'extraction au Soxhlet. Cette technique ne nécessite aucune filtration du mélange, ce qui réduit le contact avec les solvants. Nous avons utilisé l'appareil Soxhlet du modèle (Behrotest), disponible à la faculté de Sciences Naturelles et de la Vie (SNV) de Bouira, pour déterminer les quantités de HAP dans les 30 échantillons de notre étude.

Avant de procéder à l'extraction, 1g de matière fraîche de chaque échantillon a été pesé et placé dans une cartouche en cellulose. Ensuite, un mélange de solvant composé de 60 ml d'hexane et 60 ml d'acétone a été versé dans un ballon préalablement pesé. Une fois que quatre cartouches ont été montées sur leurs ballons respectifs, ils ont été placés dans l'extracteur Soxhlet sous la hotte, à une température de 70°C.

Pendant l'extraction, nous avons surveillé le solvant remontant dans les cartouches jusqu'à ce qu'il devienne transparent, indiquant que les extraits ont été récupérés. En parallèle, nous

avons vérifié le bon fonctionnement de la pompe à eau pour garantir le refroidissement du dispositif.



**Figure8.**Schéma de protocole expérimental pour l'extraction des HAP par Soxhlet.

À la fin de l'extraction, qui prend généralement entre 3 et 4 heures, les ballons contenant les extraits ont été récupérés et placés à l'étuve pour séchage. Une fois secs, les ballons ont été pesés pour déterminer la masse des extraits obtenus. Les concentrations en hydrocarbures totaux sont déterminées de manière indirecte selon la formule suivante :

P (HCt): poids des hydrocarbures totaux en µg/g.

Pcp : poids du creuset plein.

Pcv : poids du creuset vide.

Pe : poids de l'échantillon.

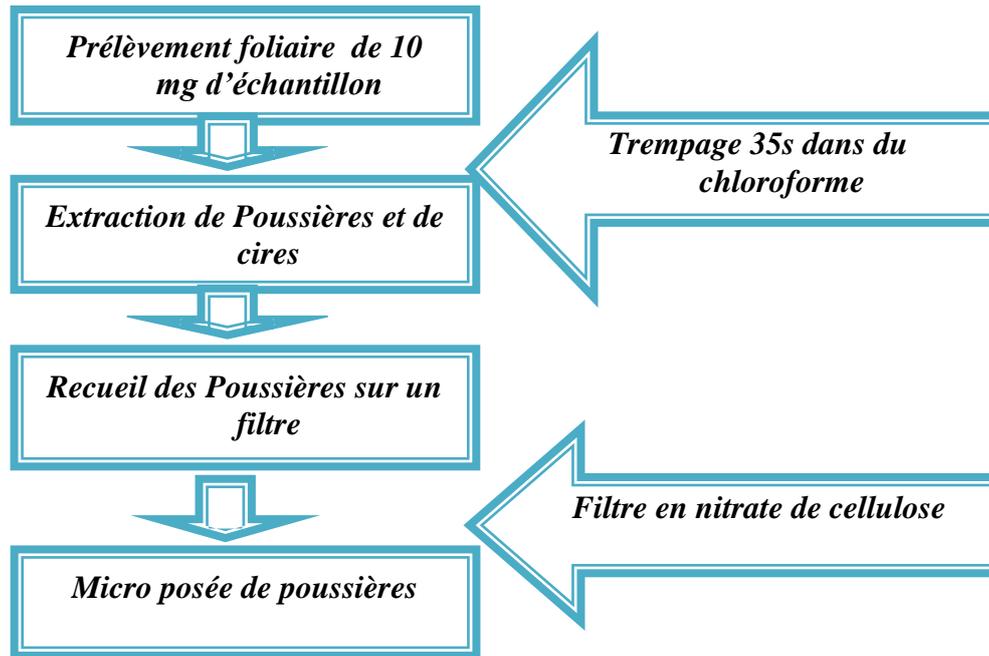
$$P(HCt) = (Pcp - Pcv / Pe) * 10^{-6} \quad (1)$$

### III.4. Dosage des poussières et des cires

L'élimination de la poussière de l'échantillon est essentielle car la plupart des hydrocarbures aromatiques polycycliques atmosphériques proviennent des matières en suspension et des poussières. La quantité de poussière sur l'échantillon indique le degré d'exposition à la pollution organique.

Dans un bécher, 100 mg de matière fraîche (MF) de l'échantillon, préalablement coupée en petits morceaux, ont été placés. Ensuite, 10 ml de chloroforme ont été ajoutés à chaque échantillon, et ce mélange a été laissé en contact pendant 35 secondes.

Par la suite, l'extrait a été filtré à travers un papier filtre (en nitrate de cellulose), puis laissé à l'air libre jusqu'à séchage complet avec les autres extraits. Enfin, les filtrats ont été pesés pour déterminer leur poids.

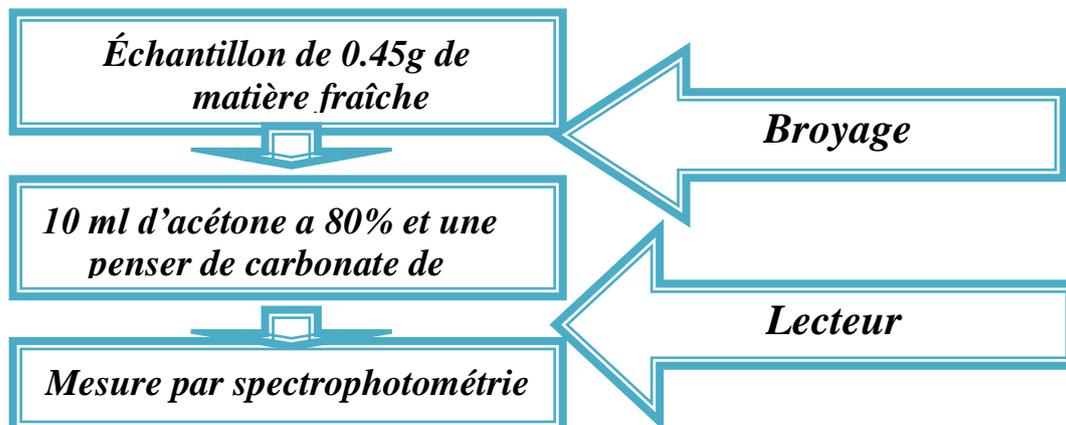


**Figure9.** Schéma de protocole expérimental pour le dosage des poussières accumulées sur les surfaces foliaire

### III.5. Dosage de la chlorophylle

Dans le but d'évaluer l'effet de la pollution sur la photosynthèse et spécialement sur la chlorophylle des lichens utilisés, nous avons extrait et calculer le dosage de chlorophylle a,b et ab

Nous avons prélevé 0,45 g de chaque échantillon, auxquels nous avons ajouté 10 ml d'acétone (20 ml à 80 %) et une pincée de carbonate de calcium, puis nous les avons broyés dans un mortier. Après un broyage complet, la solution a été filtrée à travers un papier filtre et transférée dans des tubes recouverts de papier aluminium pour éviter l'oxydation de la chlorophylle due à la lumière.



**Figure10.** Schéma de protocole expérimental de dosage de la chlorophylle.

Le dosage a été fait par le prélèvement de la solution dans la cuve à spectrophotomètre, la lecture a été faite aux deux longueurs d'ondes ( $\lambda_1=645$  nm et  $\lambda_2=663$  nm) après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%.

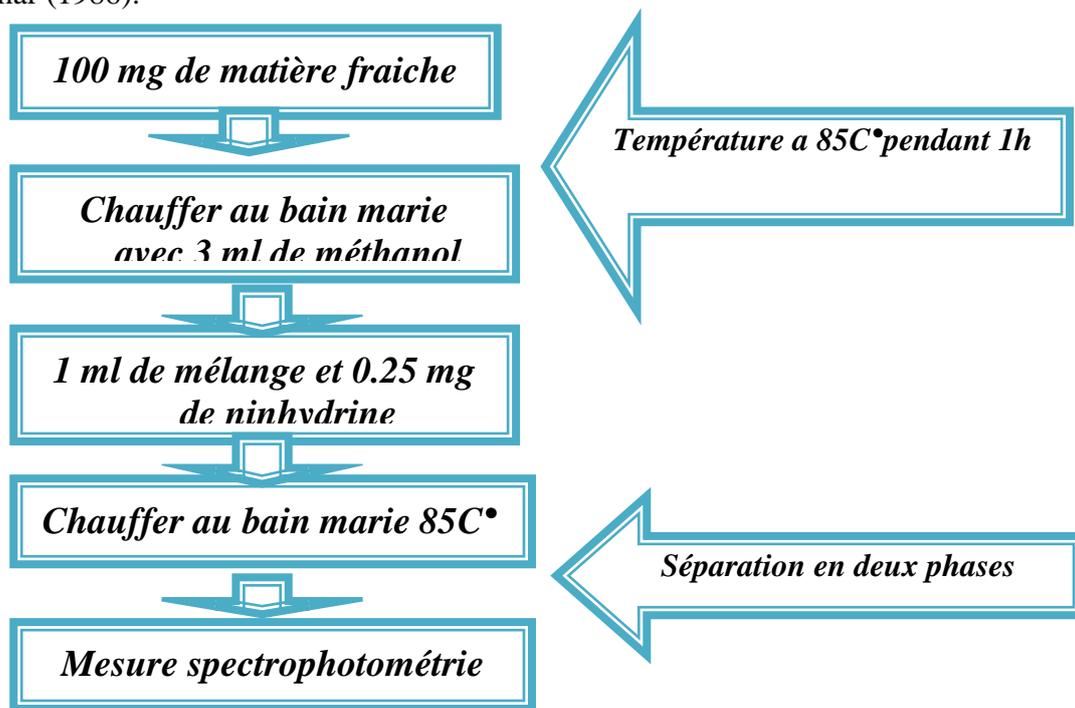
Le calcul des valeurs de la chlorophylle a été faite grâce aux formules suivantes :

- **Chl a:**  $12.7 (DO\ 663) - 2.69 (DO\ 645)$  (Arnon, 1949)
- **Chl b:**  $22.9 (DO\ 645) - 4.86 (DO\ 663)$
- **Chl a+ b:**  $8.02 (DO\ 645) + 20.20 (DO\ 663)$  (Brown et White Head, 1986)

**DO:** Densités Optiques (les longueurs d'ondes (645nm et 663nm)).

### III.6. Dosage de la proline

La proline est l'un des vingt principaux acides aminés constitutifs des protéines. Elle est facilement oxydée par la ninhydrine. Dans notre étude, son dosage a été effectué selon la méthode de Troll et Lindsley (1955), avec des modifications apportées par Monneveux et Nemmar (1986).

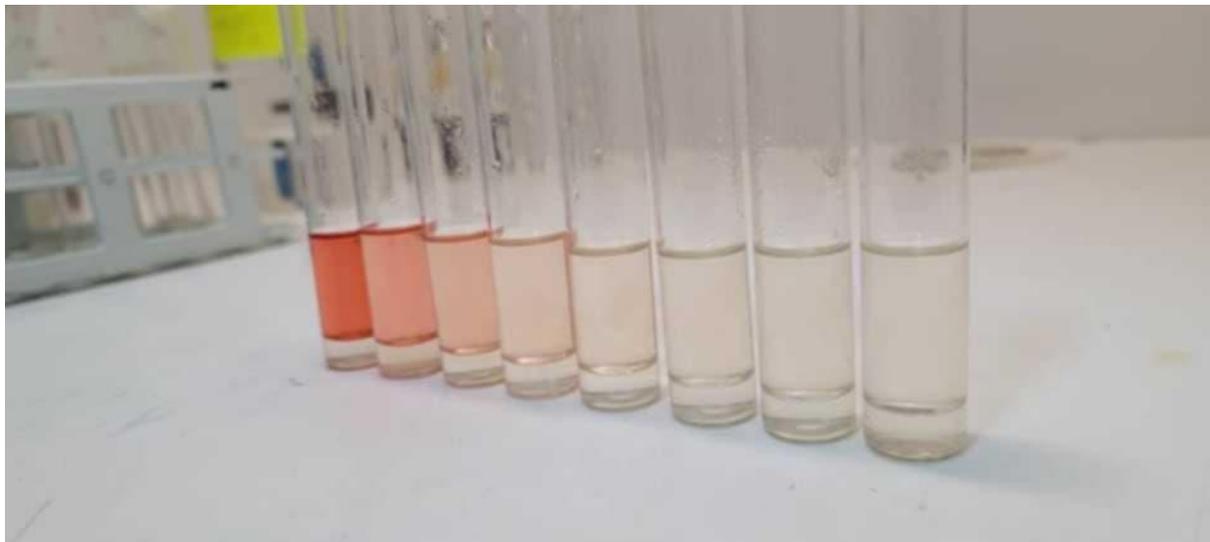


**Figure 11.** Protocole expérimental pour le dosage de la proline.

Pour déterminer la quantité de proline, nous avons commencé par placer 100 mg de matière fraîche de nos échantillons de Mousse et de Lichens, dans des tubes à essai contenant 3 ml de méthanol à 80 %. Ensuite, nous avons chauffé les tubes à 85°C dans un bain-marie pendant une heure, en les couvrant de papier aluminium pour empêcher toute évaporation du méthanol.

Après refroidissement, nous avons prélevé 1 ml d'extrait auquel nous avons ajouté 1 ml d'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) et 1 ml d'un mélange comprenant : 12 ml d'eau distillée, 30ml d'acide acétique, 8 ml d'acide ortho phosphorique et 2,5 mg de ninhydrine ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$ ).

Les solutions ont été portées à ébullition pendant une heure à  $100^\circ\text{C}$  jusqu'à ce qu'elles, deviennent rouges.



**Figure 12.** Séparation des deux phases : inférieure contenant la proline et supérieure dépourvue d'elle.

Après le processus de refroidissement, nous avons introduit 5 ml de toluène dans la solution. Après agitation, la solution s'est séparée en deux phases distinctes :

- La phase inférieure, demeurée transparente, ne contient pas de proline.
- La phase supérieure, teintée en rouge, renferme la proline. Nous avons ensuite récupéré cette phase et procédé à sa déshydratation en ajoutant du sulfate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Par la suite, cette dernière a été soumise au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 528 nm. L'étalonnage de l'appareil a été réalisé à l'aide d'un mélange standard comprenant de l'acide acétique, de l'eau distillée, de l'acide ortho phosphorique et de la ninhydrine, et les données obtenues ont été inscrites sur une courbe d'étalonnage. Cette courbe a été tracée en laboratoire en utilisant des concentrations connues de proline.

#### **IV. Analyse statistique**

Pour une compréhension approfondie, les données collectées ont été soumises à une analyse statistique approfondie, examinée sous différents angles et niveaux de détail.

Nous avons commencé par analyser nos données à l'aide de statistiques descriptives à l'aide du logiciel Statistica 8.0. Cette analyse a impliqué le calcul de divers paramètres statistiques tels que les moyennes, les médianes, les écarts-types, etc. De plus, les résultats ont été

représentés graphiquement à l'aide de diagrammes basés sur les moyennes et des barres d'erreur illustrant les écarts-types réalisé avec Excel.

Par la suite, pour comparer et mieux appréhender les variations spatiales des données étudiées (concentrations en HAP, poussières, chlorophylle et proline) chez les deux bioaccumulateurs *Xanthoria parietina*, et *Bryum argenteum*. On a réalisé Un box plot pour les deux en utilisant logiciel le R.

Pour vérifier la fiabilité statistique des différences observées dans l'accumulation entre *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, et d'examiner l'interaction entre les deux bioaccumulateurs et les stations étudiées une Analyse de Variance (ANOVA) à deux variables effectuée Ceci, après avoir vérifié que les distributions étaient normales et l'homogénéité des variances était respectée. Et cela avec logiciel Statistica8.

En fin, afin d'établir les relations entre les variations des paramètres étudiées, nous avons opté pour une approche statistique multivariée, à savoir l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette méthode, permettant l'exploration des corrélations entre différentes variables numériques, a été mise en œuvre à l'aide du logiciel Statistica8.0.

### **Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons étudié 30 échantillons de *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* collectés dans cinq stations différentes de la région de Bejaia. Nous avons effectué des déplacements sur le terrain pour collecter et conserver les échantillons de manière appropriée.

Cette étude de terrain a été complétée par des expériences en laboratoire. Nous avons mené quatre expériences, notamment l'extraction des HAP et des poussières, ainsi que le dosage des paramètres physiologiques tels que la chlorophylle et la proline sur les échantillons. L'objectif était de déterminer la quantité des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) d'origine atmosphériques dans la région de Bejaia.

## *Chapitre 3. Résultats et Discussions*

## Introduction

Ce présent chapitre vise principalement à présenter les résultats de nos travaux de recherche et à les interpréter. Nous commencerons par organiser les données des paramètres étudiés, tels que les HAP, les PM, la chlorophylle a, b et ab, ainsi que la proline, sous forme de statistiques descriptives. Les résultats de chaque paramètre seront ensuite exposés sous forme d'histogrammes, suivis d'une interprétation, puis de box plots pour les deux espèces étudiées, « *Xanthoria parietina* » et « *Bryum argenteum* », afin de comparer la variation spatiale des résultats entre les deux bioaccumulateurs. Pour approfondir l'analyse statistique, une ANOVA à deux facteurs sera réalisée pour chaque paramètre, suivie d'une interprétation des résultats. Enfin, une ACP sera présentée pour mieux comprendre les corrélations entre les différents paramètres, permettant ainsi de visualiser et d'interpréter les relations complexes entre les données collectées.

## I. Distribution générale des données

Avant l'interprétation des résultats, nous avons choisi d'utiliser les statistiques descriptives afin de résumer, organiser et analyser les données recueillies pour chaque espèce.

Les tableaux 5 et 6, présentant les statistiques descriptives des données de *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, révèlent une grande variabilité dans les concentrations mesurées pour ces deux espèces.

**Tableau 5.** Statistiques descriptives des données de *Xanthoria parietina*

	Valid N	Mean	Médian	Minimum	Maximum	Std.Dev.
HAP	15	329,333	220,000	50,0000	970,000	297,2845
Proline	15	45,400	32,000	12,0000	99,000	31,3478
PM	15	3,842	2,400	0,8000	8,900	2,7256
Chla	15	55,333	41,000	21,0000	109,000	29,7241
Chlb	15	772,667	750,000	38,0000	1659,000	692,0631
Chlab	15	1531,733	1168,000	597,0000	2634,000	784,4870

**Tableau 6.** Statistiques descriptives des données de *Bryum argenteum*

	Valide N	Mean	Médiane	Minimum	Maximum	Std.Dev.
HAP	15	228,000	110,000	30,0000	810,000	229,7576
PM	15	2,933	1,600	0,4000	7,100	2,3560
Proline	15	37,467	23,000	7,0000	92,000	29,5752
Chla	15	517,200	356,000	209,0000	978,000	271,6769
Chlb	15	894,867	707,000	275,0000	1621,000	483,5708
Chlab	15	1420,267	1105,000	565,0000	2577,000	745,3878

Les résultats des HAP, de la proline, des particules en suspension et des chlorophylles montrent tous des distributions asymétriques, avec des médianes inférieures aux moyennes et

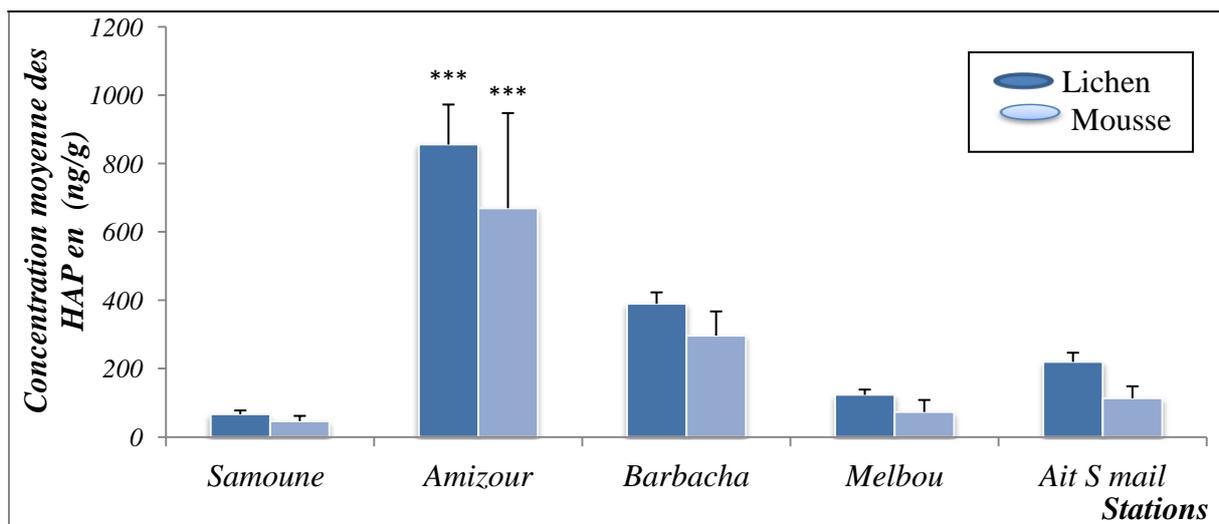
des valeurs extrêmes élevées. Ces valeurs extrêmes influencent fortement les moyennes et les écarts-types, ce qui indique une dispersion importante des données.

## II. Paramètres de pollution

Afin de bien évaluer la qualité de l'air à Bejaia, nous avons considéré la poussière (PM) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) comme des indicateurs de pollution.

### II.1. Évaluation de l'accumulation des HAP

Selon l'histogramme de la Figure 13, qui représente les concentrations moyennes des HAP accumulés par *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, dépanadant des différentes stations analysées. Nous constatons que la concentration moyenne des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) atteint sa valeur maximale à la station d'Amizour pour chacune des deux espèces, avec 855 ng/g pour *Xanthoria parietina* et 669 ng/g pour *Bryum argenteum*. Les moyennes les plus basses sont calculées sur les valeurs enregistrées à Samaoune (66 ng/g pour *Xanthoria parietina* et 46 ng/g pour *Bryum argenteum*).



\*\*\* Différences significatives par rapport aux espèces

**Figure 13.** Variation des concentrations moyennes des HAP (ng/g) accumulés par *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* en fonction des stations a Bejaïa

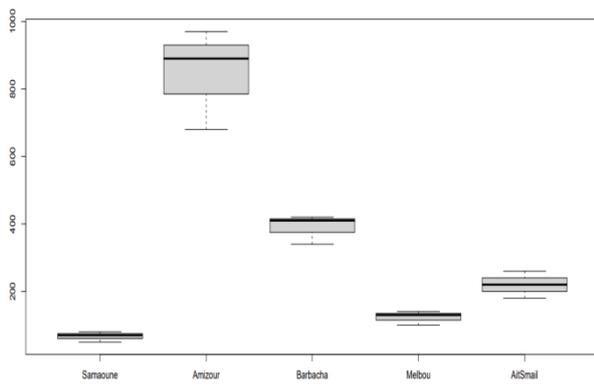
La station d'Ait Smail présente une concentration moyenne en HAP, relativement plus élevées par rapport à Melbou, avec respectivement 220 ng/g et 113 ng/g pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*. À Melbou, ces valeurs sont de 73,33 ng/g pour *Xanthoria parietina* et 15,56 ng/g pour *Bryum argenteum*. En revanche, Barbacha se distingue par des concentrations moyennes élevées en HAP. Pour *Xanthoria parietina*, la concentration atteint 390 ng/g, tandis que pour *Bryum argenteum*, elle est de 296 ng/g. g.

Ces résultats permettent de constater une légère différence entre l'accumulation des HAP chez ces deux bios indicateurs. On observe que l'accumulation des HAP est plus importante chez *Xanthoria parietina* que chez *Bryum argenteum*.

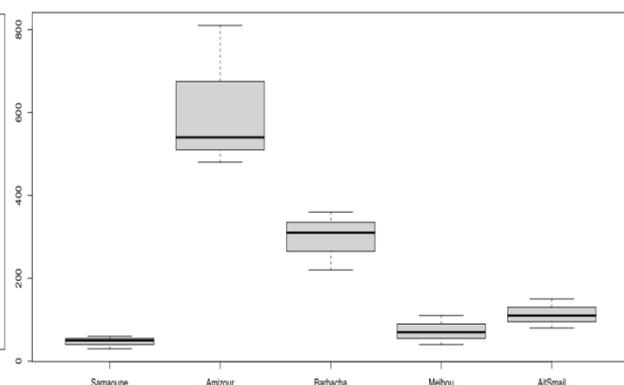
Afin d'appréhender les différences de concentrations des HAP entre les différentes stations et de mettre en lumière les tendances centrales et la dispersion des données, un box plot a été réalisé pour chacun des deux bioaccumulateurs (*Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*).

En examinant le box plot des HAP accumulés par les deux bioaccumulateurs, tel qu'illustré dans les figures 14 et 15, Nous remarquons que les concentrations médianes d'HAP accumulées par *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* suivent la même tendance.

La station d'Amizour occupe la première position avec une médiane égale à 890ng/g pour *Xanthoria parietina* et 540ng/g pour *Bryum argenteum*, suivie par Barbacha avec des médianes respectivement égales à 410ng/g et 310ng/g pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*. Les concentrations médianes à Ait Smail sont légèrement plus augmentées (220ng/g pour *Xanthoria parietina* et 110ng/g pour *Bryum argenteum*) par rapport aux valeurs trouvées au niveau de la station de Melbou qui représentent les valeurs suivantes ; 130ng/g accumulée par *Xanthoria parietina* et 70ng/g par *Bryum argenteum*. La valeur médiane trouvée à Samaoune est la plus basse où *Xanthoria parietina* accumule une concentration médiane de 70ng/g et *Bryum argenteum* affiche une valeur de 50 ng/g.



**Figure 14.** Variation spatiale des HAP accumulés par *Xanthoria parietina* à Bejaia.



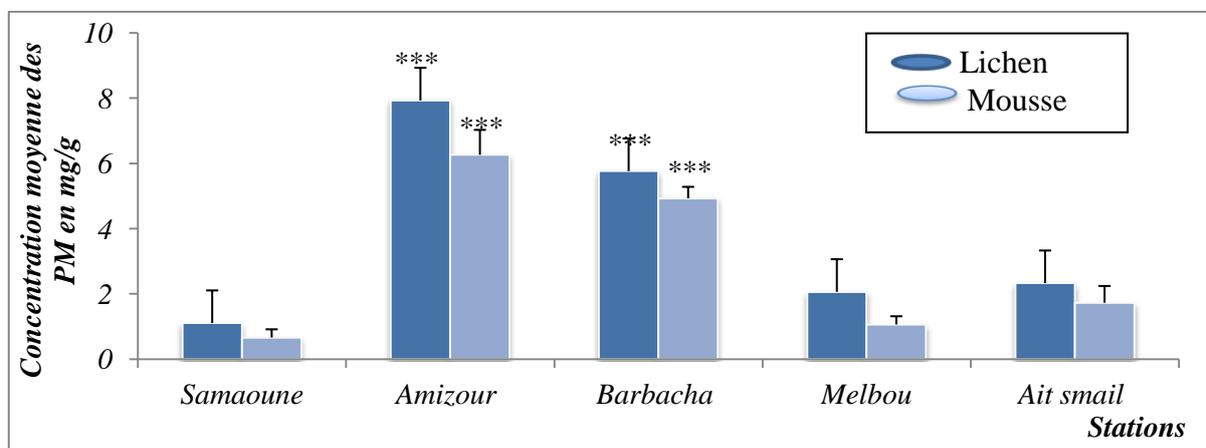
**Figure 15.** Variation spatiale des HAP accumulés par *Bryum argenteum* à Bejaia.

D'après les écarts interquartiles calculés, on constate qu'au niveau de la station d'Amizour, les données les plus dispersées sont trouvées (158,5ng/g pour *Xanthoria parietina* et 254,5ng/g chez *Bryum argenteum*). Alors que la station de Samaoune affiche des données dix fois moins dispersées que celle d'Amizour, avec des écarts interquartiles respectivement de 15ng/g et

31,39ng/g pour *Xanthoria parietina* et pour *Bryum argenteum*. La dispersion des données au niveau des trois autres stations sont de l'ordre suivant, avec des écarts interquartile respectivement pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* (410ng/g et 310ng/g) au niveau de Barbacha (130ng/g et 70ng/g) à Melbou et au niveau d'Ait Smail sont (220ng/g et 110ng/g).

## II.2. Évaluation de la quantité des Poussières de cires

L'histogramme de la Figure 16 représente les concentrations moyennes des poussières de cires (PM) accumulées par les bio accumulateurs *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* selon les stations analysées. Visuellement, il est évident que *Xanthoria parietina* accumule ces HAP légèrement plus que *Bryum argenteum*.



\*\*\* Différences significatives par rapport aux espèces

**Figure16.** Variation des concentrations moyennes des PM (mg/g) par stations a Bejaïa.

À Amizour, les concentrations de particules en suspension (PM) sont les plus élevées enregistrées, avec des valeurs de 7,9 mg/g pour *Xanthoria parietina* et 6,2 mg/g pour *Bryum argenteum*. En revanche, à Samaoune, on observe les valeurs les plus basses, avec respectivement 1,1 mg/g pour *Xanthoria parietina* et 0,66 mg/g pour *Bryum argenteum*.

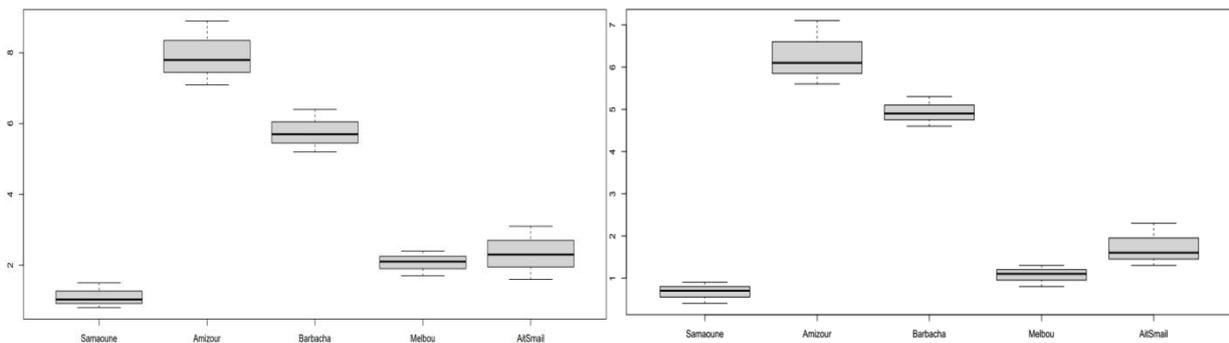
À Barbacha, les deux espèces présentent une concentration moyenne élevée de particules en suspension (PM) : *Xanthoria parietina* avec 5,7 mg/g et *Bryum argenteum* avec 4,9 mg/g. Pour Melbou et Ait Smail, les valeurs sont proches, mais légèrement plus élevées à Ait Smail : 2,3 mg/g pour *Xanthoria parietina* et 1,7 mg/g pour *Bryum argenteum*.

À Melbou, les concentrations sont de 2,06 mg/g pour *Xanthoria parietina* et 1,06 mg/g pour *Bryum argenteum*.

Un diagramme en boîte a été élaboré, (Figure 17et 18) pour chacun bioaccumulateurs, dans le but de mieux visualiser les différences de concentrations de particules en suspension (PM)

entre les diverses stations. Ainsi que pour analyser les tendances centrales et la dispersion des données chez *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*.

D'après l'emplacement des boîtes à moustache de chaque station, On constate que la station d'Amizour, située en haut du box plot, affiche les concentrations les plus élevées en PM (7,8 mg/g pour *Xanthoria parietina* et 6,1 pour *Bryum argenteum*), par contre au niveau de la station de Samaoune qui situ en bas du graphe ,est afficher les concentrations les moins élevée, avec des moyennes respectivement pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* (1,03mg/g et 0,7mg/g).Barbacha présente une concentration moyenne élevée avec une médiane de 5,7 mg/g pour *Xanthoria parietina* et6,1mg/g pour *Bryum argenteum*, et presque trois fois plus élevée que celle d'Ait Smail (2,3 pour *Xanthoria parietina* et 1,6 pour *Bryum argenteum*) et Melbou (Q2 de *Xanthoria parietina* est de 2,1 mg/g et *Bryum argenteum* a accumulée 1,1 mg/g de PM



**Figure 17.** Variation spatiale de la quantité de PM accumulé par *Xanthoria parietina* à Bejaia.

**Figure 18.** Variation spatiale de la quantité de PM accumulée par *Bryum argenteum* à Bejaia.

La dispersion des donnée de PM, suivre la tendance suivante ; Amizour avec les données les plus dispersée et des écart interquartile de 0,9mg/g pour *Xanthoria parietina* et 0,75mg/g pour *Bryum argenteum*, ces données sont trois fois plus dispersées que ceux des deux station Samaoune et Melbou, qui affiche les même écart interquartile (0,35mg/g pour *Xanthoria parietina* et 0,25mg/g pour *Bryum argenteum*).Au niveau d'Ait Smail les écart interquartile calculées sont presque deux fois plus supérieures que ceux de Samaoune et Melbou(0,55mg/g pour *Xanthoria parietina*0,48mg/g pour *Bryum argenteum*).

### II.3. Dosage de la chlorophylle

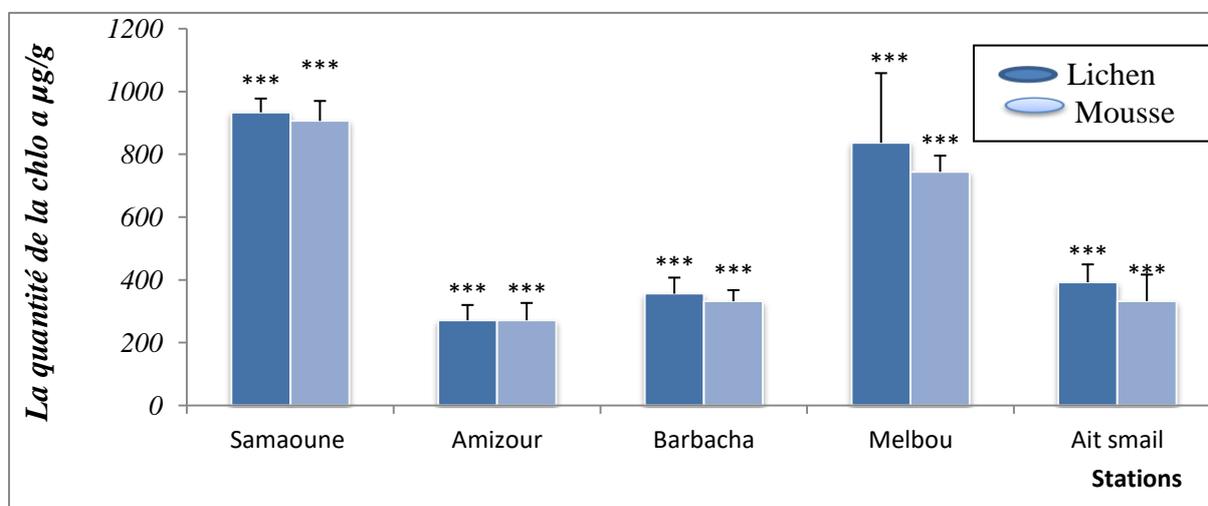
### II.4. Dosage de la chlorophylle a (Chl a)

Selon l'histogramme de la figure 19, qui présente la variation des quantités de chlorophylle a chez *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, on constate que Samaoune se distingue

nettement avec une concentration élevée de 933,6 µg/g pour *Xanthoria parietina* et de 906,33 µg/g pour *Bryum argenteum*.

Melbou suit avec une concentration moyenne élevée de 835,3 µg/g pour *Xanthoria parietina* et de 744,6 µg/g pour *Bryum argenteum*.

Les stations d'Ait Smail et de Barbacha montrent des concentrations presque similaires, avec *Xanthoria parietina* présentant une concentration en chlorophylle a de 392 µg/g à Ait Smail et de 355,6 µg/g à Barbacha. *Bryum argenteum* dans ces deux stations synthétise la chlorophylle a en quantités égales de 332 µg/g. La concentration la plus basse est observée à Amizour, avec une valeur de 271 µg/g pour les deux bio accumulateurs.



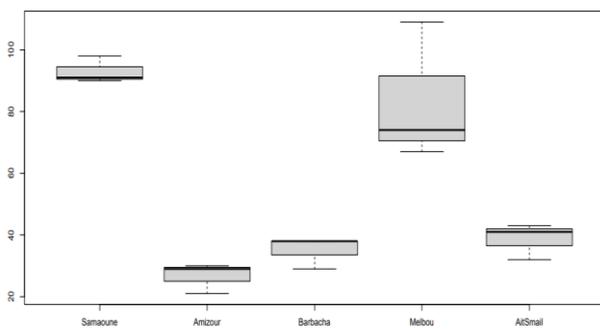
\*\*\* Différences significatives par rapport aux espèces

**Figure19.** Variation des concentrations moyennes des Chl a (µg/g) par stations a Bejaïa.

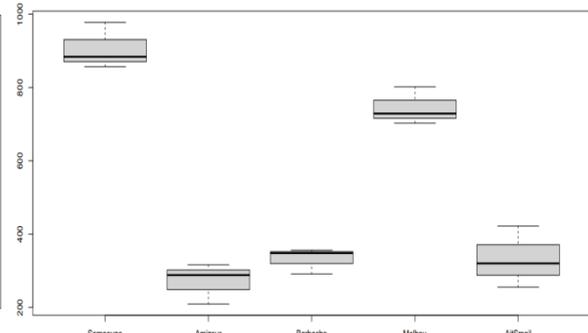
Dans le but de visualiser les différences de concentrations de particules en suspension (PM) accumulées, entre les diverses stations, un diagramme en boîte a été élaboré (Figure 20 et 21) pour les deux bioaccumulateurs, « *Xanthoria Parietina* » et « *Bryum Argenteum* ».

L'analyse du box plot révèle une fluctuation des quantités de chlorophylle a, qui suis la même tendance pour les deux espèces *Xanthoria parietina* et de *Bryum argenteum*. En examinant l'emplacement des boîtes à moustaches des stations représentées dans le diagramme, on observe que la quantité de chlorophylle a la plus élevée est calculée à Samaoune, avec une médiane de 911 µg/g pour *Xanthoria parietina* et 884µg/g pour *Bryum argenteum*. Suivie par les quantités médianes mesurées au niveau de Melbou (Q2 de *Xanthoria parietina* est de 745µg/g et Q2 de *Bryum argenteum* égale à 729µg/g). Les quantités synthétisées au niveau

des deux stations Ait Smail (418 $\mu\text{g/g}$  est le Q2 de *Xanthoria parietina* et 320 $\mu\text{g/g}$ , le Q2 de *Bryum argenteum*) et Barbacha (381 $\mu\text{g/g}$  est la quantité synthétisée par *Xanthoria parietina* et 348 $\mu\text{g/g}$  par *Bryum argenteum*), sont proche. La quantité médiane la plus basse est calculée au niveau de la station d'Amizour avec des médianes successivement 297 $\mu\text{g/g}$  et 288 $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*.



**Figure 20.** Variation spatiale de la quantité de Chla chez *Xanthoria parietina* à Bejaia.

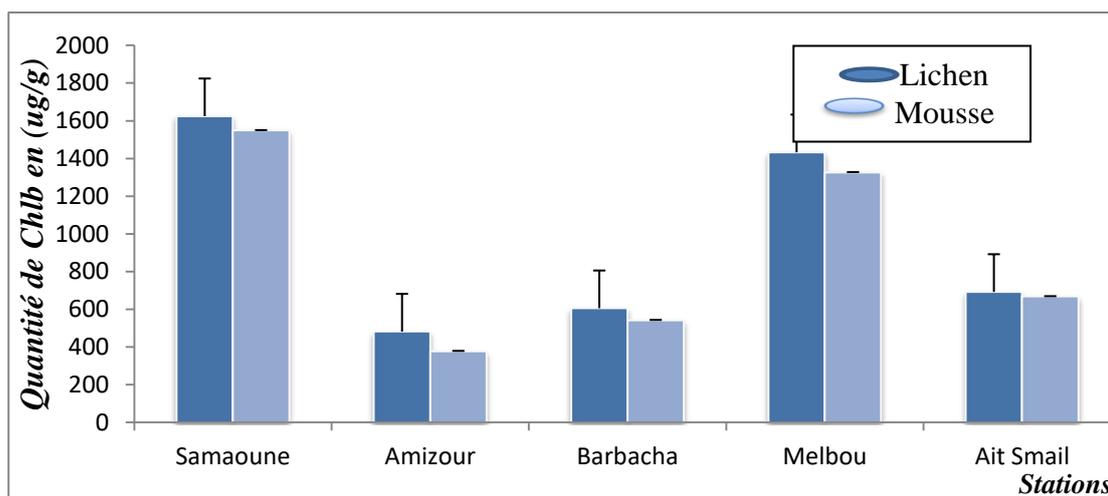


**Figure 21.** Variation spatiale de la quantité de Chla chez *Bryum argenteum* à Béjaia.

Les données à la station de Melbou sont les données les plus dispersées, comme l'indique un écart interquartile de 209,5 $\mu\text{g/g}$ , qui est Cinq fois plus supérieures que celui de de Samaoune (39 $\mu\text{g/g}$ ), qui présentent les données les moins dispersées. Les données des trois autres station sont moyenne dispersé, et sont de l'ordre suivant Ait Smail avec un écart interquartile de 52  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 83,5 pour *Bryum argenteum*), Au niveau de la station Barbacha les écart interquartile sont de l'ordre (46 $\mu\text{g/g}$  et 32,5 $\mu\text{g/g}$ ) pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* ), finalement les écart interquartile de 43 $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 53,5  $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum* sont calculées au niveau de la station d'Amizour..

#### II.4.1. Dosage de la chlorophylle b (Chl b)

L'histogramme illustré dans la figure 22, met en évidence des variations significatives entre les stations en ce qui concerne les quantités de chlorophylle b synthétisées. La valeur la plus élevée est enregistrée à Samaoune, avec une moyenne de 1625  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 1550  $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. En revanche, la quantité la plus faible est observée à la station Amizour, atteignant seulement 482  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina*, soit près de trois fois moins que celle de Samaoune, et 378  $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*.



\*\*\* Différences significatives par rapport aux espèces

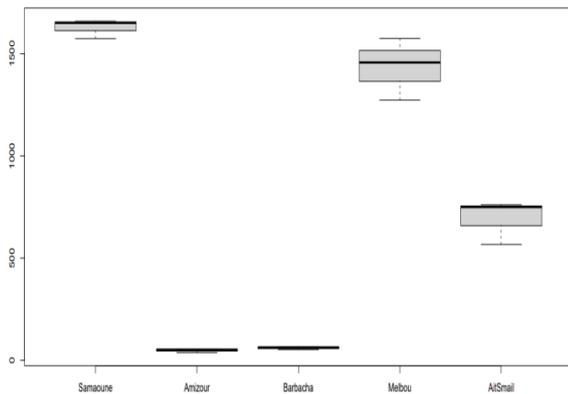
**Figure22.** Variation des teneurs en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des Stations.

En revanche, la quantité la plus faible est observée à la station Amizour, atteignant seulement  $482 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina*, soit près de trois fois moins que celle de Samaoune, et  $378 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. Melbou présente une moyenne intermédiaire en chlorophylle b, avec une moyenne de  $1433 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $1327 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. Enfin, Barbacha affiche des moyennes légèrement inférieures, avec  $606 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $543 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*, tandis qu'Ait Smail présente des concentrations légèrement supérieures, avec  $692 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $669 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*.

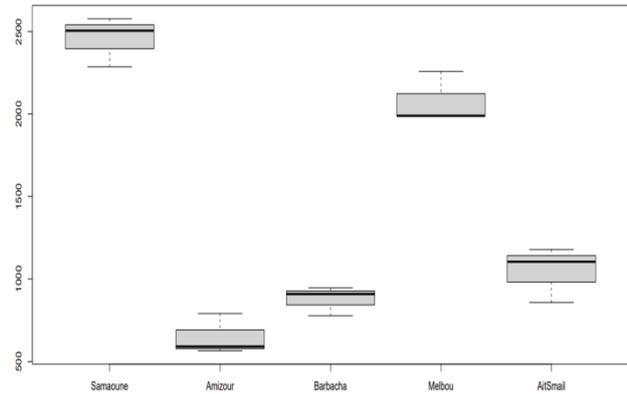
Pour mieux comprendre la répartition des valeurs de Chl b entre les stations, ainsi que pour analyser les tendances centrales et la dispersion des données chez *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, nous avons réalisé un box plot pour chacun des espèces (Figure23 et 24).

En observant l'emplacement des boîtes à moustaches des stations, on observe que au niveau de la station Samaoune, est calculée la concentration médiane la plus élevée (Q2 égale à  $1650 \mu\text{g/g}$  chez *Xanthoria parietina* et  $1600 \mu\text{g/g}$  chez *Bryum argenteum*), suivie par les quantités médianes synthétisées à Melbou (Q2 de *Xanthoria parietina* est  $1457 \mu\text{g/g}$  et le Q2 de *Bryum argenteum* égale à  $1265 \mu\text{g/g}$ ).

Tandis que la médiane la plus petite est synthétisée par les espèces de la station d'Amizour avec des valeurs respectivement de  $525 \mu\text{g/g}$  et  $356 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*. Les médianes mesurées à la station d'Ait Smail ( $750 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $707 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*) sont un peu plus élevées que celle de Barbacha qui présente les valeurs suivantes  $639 \mu\text{g/g}$  comme quantité synthétisée par *Xanthoria parietina* et  $561 \mu\text{g/g}$  par *Bryum argenteum*.



**Figure 23.** Variation spatiale de la quantité de Chl b chez *Xanthoria parietina* à Béjaia.



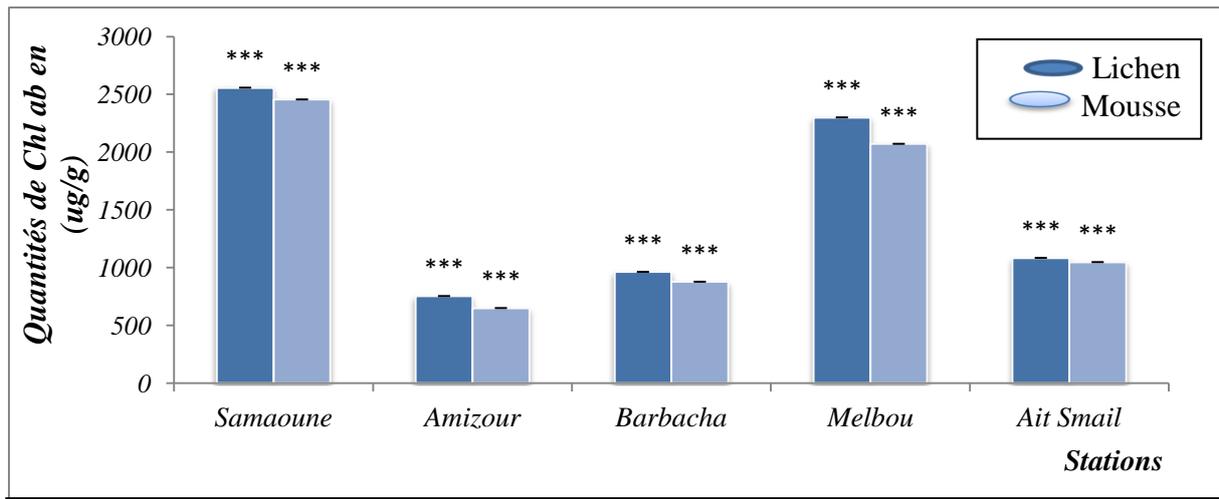
**Figure 24.** Variation spatiale de la quantité de Chl b chez *Bryum argenteum* à Bejaia.

La dispersion des données de Chl b, suis la même tendance pour les deux bioaccumulateurs, Au niveau de la station d’Ait Smail, on a calculée les données les plus dispersée avec une médiane de 97µg/g pour *Xanthoria parietina* et 107 µg/g pour *Bryum argenteum* ,ces valeurs sont deux fois plus supérieure par rapport aux valeurs trouvée à la station de Samaoune qui présentent les données les moins dispersées avec des écart interquartile de 38µg/g synthétisée par *Xanthoria parietina* et 45 µg/g par *Bryum argenteum*. La station de Melbou affiche des écarts interquartiles (63µg/g synthétisée par *Xanthoria parietina* et 48 µg/g par *Bryum argenteum*), et au niveau de Barbacha les écarts interquartile sont (63µg/g pour *Xanthoria parietina* et 48µg/g pour *Bryum argenteum*), et Finalement au niveau d’Amizour les données en Chl b ont données l’écart interquartiles suivant (78µg/g pour *Xanthoria parietina* et 115µg/g pour *Bryum argenteum*).

#### II.4.2.Dosage de la chlorophylle ab (Chl ab)

L’histogramme de la figure 25 illustre les différences entre les concentrations de chlorophylle a et b dans les différentes stations, en prenant en compte les deux bioaccumulateurs, *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*.

À Samaoune, nous constatons une augmentation est notée avec une concentration moyenne de 2558 µg/g pour *Xanthoria parietina* et 2456 µg/g pour *Bryum argenteum*. En comparaison, Melbou présente des concentrations de 2300 µg/g pour *Xanthoria parietina* et 2071 µg/g pour *Bryum argenteum*.



\*\*\* Différences significatives par rapport aux espèces

**Figure 25.** Variation des teneurs en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des Station.

Ait Smail affiche des concentrations moyennes élevées en chlorophylle a et b, avec  $1084 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $1047 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*, par rapport à Barbacha qui présente des concentrations inférieures, avec  $962 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $877 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. La station d'Amizour montre les plus faibles concentrations, avec  $753 \mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $649 \mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*.

Pour analyser la répartition des valeurs de chlorophylle ab et comparer les différentes stations, ainsi que pour examiner les tendances centrales et la dispersion des données chez *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*. Les box plot illustré dans la figure 26 et 27, sont réalisés.

Les quantités médianes de Chl ab, synthétisée par *Xanthoria parietina* et par *Bryum argenteum* suit la même tendance, la station la plus élevée est au niveau de Samaoune avec des valeurs en Q2, respectivement de  $2561\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $2505\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*, suivie par Melbou, qui affiche des valeurs moyenne élevée avec (Q2 de *Xanthoria parietina* est de  $2287\mu\text{g/g}$  et Q2 de *Bryum argenteum* est  $1989\mu\text{g/g}$ ). La station d'Ait Smail et Barbacha présente des valeur presque similaire avec des médianes respectivement de ( $1168\mu\text{g/g}$  et  $1105\mu\text{g/g}$ ) et ( $1020\mu\text{g/g}$  et  $909\mu\text{g/g}$ ), synthétisées par *Xanthoria parietina* et par *Bryum argenteum*. Alors que les valeurs médianes les plus basse sont calculées au niveau d'Amizour avec (Q2 de *Xanthoria parietina* est de  $823\mu\text{g/g}$  celle de *Bryum argenteum* est  $591\mu\text{g/g}$ ).

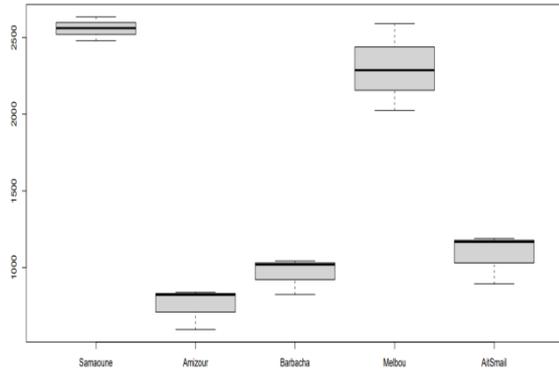


Figure 26. Variation spatiale de la quantité de Chl a chez *Xanthoria parietina* à Béjaïa.

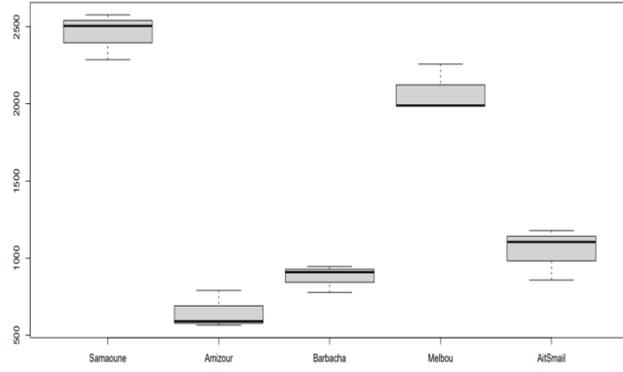
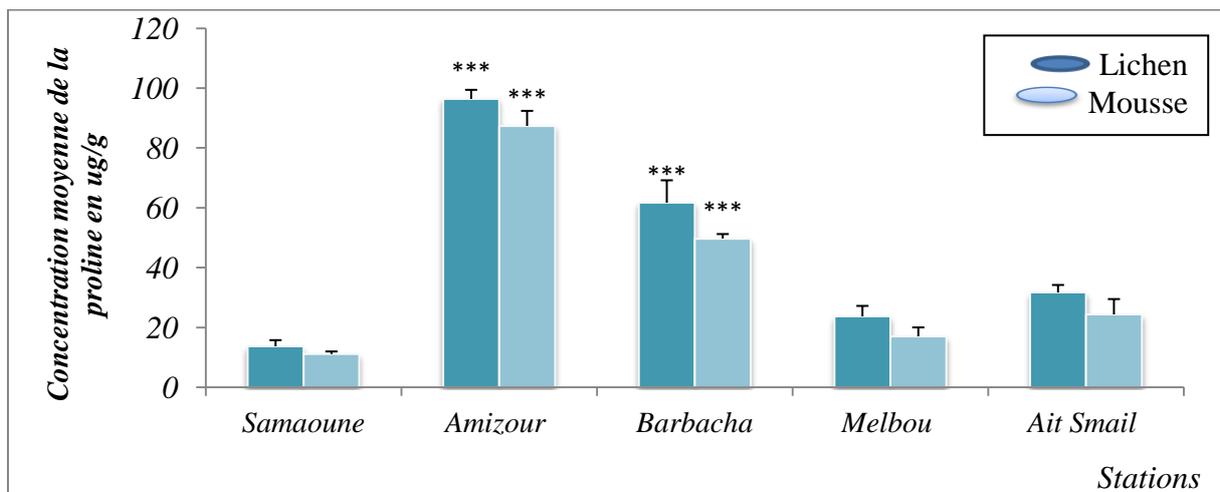


Figure 27. Variation spatiale de la quantité de Chl ab chez *Bryum argenteum* à Béjaïa.

La dispersion des données de la chl ab sont de la tendance suivante ; Melbou avec l'écart interquartile de l'ordre suivant 282,5 µg/g pour *Xanthoria parietina* et 145,5 pour *Bryum argenteum*, suivie par Ait S mail (184µg/g pour *Xanthoria parietina* et 166 µg /g pour *Bryum argenteum*), Barbacha affiche des écarts interquartiles égaux respectivement à 109µg/g et85, 5 µg/g pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*. Au niveau de la station d'Amizour les écarts interquartiles sont 121µg/g pour *Xanthoria parietina* et 113,5µg/g pour *Bryum argenteum*. Et Finalement, on a calculé un écart interquartile de 77,5µg/g chez *Xanthoria parietina* et 145,5 µg/g chez *Bryum argenteum* au niveau de la station de S Samaoune.

### II.5. Dosage de la proline

L'histogramme illustré dans la figure 28, qui est sur la variation spatiale des quantités de proline synthétisées par chacun des deux espèces *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, montre ce qui suit ;



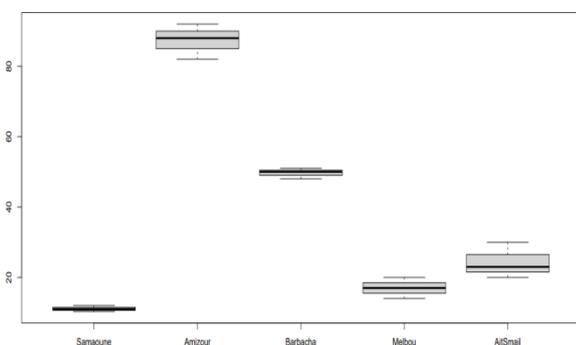
\*\*\* Différences significatives par rapport aux espèces

Figure 28. Variation spatiale de quantité de proline synthétisée à Bejaïa.

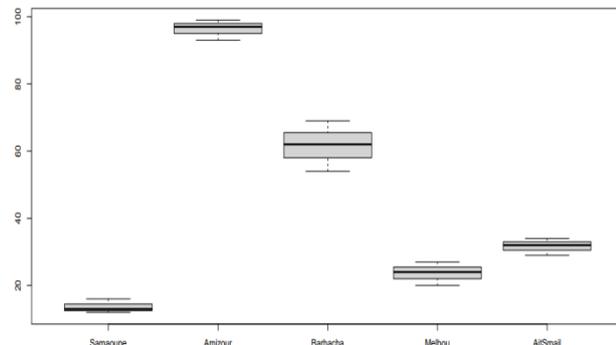
La quantité de proline synthétisée est plus élevée à la station d'Amizour pour les deux espèces étudiées, avec 96,33  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 87,33  $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. À l'inverse, les valeurs les plus basses sont relevées à Samaoune, avec 13,66  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 11,1  $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. La station d'Ait Smail présente des concentrations légèrement plus élevées par rapport à Melbou, avec respectivement 31,66  $\mu\text{g/g}$  et 24,33  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*. À Melbou, ces valeurs sont de 23,66  $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 17  $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*. En revanche, Barbacha se distingue par des concentrations moyennes élevées en proline. Pour *Xanthoria parietina*, la concentration atteint 61,66  $\mu\text{g/g}$ , tandis que pour *Bryum argenteum*, elle est de 49,66  $\mu\text{g/g}$ .

Afin de mieux appréhender les différences de concentrations de proline entre les stations étudiées et met en lumière les tendances centrales et la dispersion des données des deux bio accumulateurs *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, Un box plot a été réalisé pour chacun. (Figure 28 et 29).

L'analyse des chacun des deux box plot des deux espèces *Xanthoria parietina* et de celui de *Bryum argenteum* illustrée dans les Figure 29 et 30, montre une même tendance de variation des concentrations médianes des quantités de la prolines synthétisées en fonction des Cinq station étudiés La station d'Amizour affiche la première position avec une médiane égale à 97 $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et 88 $\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*, suivie par Barbacha avec des médianes respectivement égaux à 62  $\mu\text{g/g}$  et 50 $\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*.



**Figure 29.** Variation spatiale de la quantité de Chlab chez *Xanthoria Parietina* à Béjaia.



**Figure 30.** Variation spatiale de la quantité de Proline chez *Bryum argenteum* à Béjaia.

Les concentrations médianes à Ait Smail est légèrement plus augmentée ( $32\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $23\mu\text{g/g}$  pour *Bryum argenteum*) par rapport aux valeurs trouvés au niveau de la station de Melbou qui représente les Valeurs suivantes ;  $24\mu\text{g/g}$  accumulée par *Xanthoria parietina* et  $17\mu\text{g/g}$  par *Bryum argenteum*  $70\text{ng/g}$ . La valeur médiane trouvée à Samaoune est la plus basse où *Xanthoria parietina* accumule une concentration médiane de  $13\mu\text{g/g}$  et *Bryum argenteum* affiche une valeur de  $11\mu\text{g/g}$ .

D'après les écarts interquartiles calculée, on caste qu'au niveau de la station d'Amizour, les données les plus dispersées sont trouvée ( $8\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et  $5\mu\text{g/g}$  chez *Bryum argenteum*), Alors que la station de Samaoune affiche des donnée quatre fois moins dispersées que celle d'Amizour, avec des écarts interquartiles respectivement de  $2\mu\text{g/g}$  et  $0,85\mu\text{g/g}$  pour *Xanthoria parietina* et pour *Bryum argenteum*. La dispersion des données au niveau des trois autres stations sont de l'ordre suivant, avec des écarts interquartile respectivement pour *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* ( $6,5\mu\text{g/g}$  et  $4,5\mu\text{g/g}$ ) au niveau de Barbacha ( $3,5\mu\text{g/g}$  et  $3\mu\text{g/g}$ ) à Melbou et au niveau d'Ait Smail sont ( $2,5\mu\text{g/g}$  et  $1,5\mu\text{g/g}$ ).

### III. Résultats de l'ANOVA

Pour vérifier la fiabilité statistique des différences observées dans les résultats des déférents paramètres étudiés telle que les HAP, les PM, la chlorophylle et la proline. Entre les deux espèces *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*, d'un côté et entre les stations de l'autre côté et puis pour voir l'interaction entre les espèces et stations, avons effectué une ANOVA à deux facteurs.

Selon notre ANOVA à deux facteurs, nous pouvons tirer les informations suivantes :

-Par rapport au premier facteur (espèce) utilisé, nous remarquant seul la Chl ab qui ne montre aucune différence significative, cependant les paramètres de pollution (HAP et PM), présentent des  $p < 0,000$ , ce qui est traduit par une déférence très heurtement significative au niveau de la station d'Amizour pour les deux paramètres, et à Amizour et Barbacha juste pour les PM et la proline. Alors que pour la chlorophylle a et b, les déférences sont toujours significative entre toutes les stations.

-Par rapport au deuxième facteur (station), nous remarquant toujours une déférence significative entre les stations étudiés, d'après une p-value  $< 0,05$ .

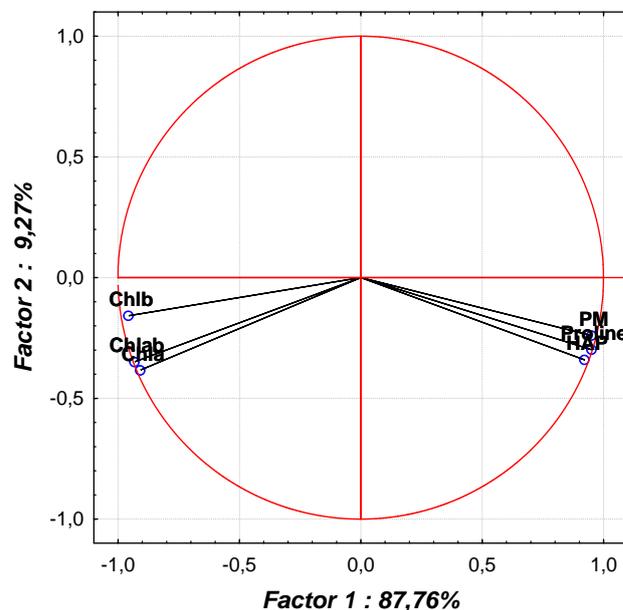
-Quant à l'examinassions des interactions entre les deux facteurs, les p-value affiche toujours des p-value  $< 0,05$ , en coïncidence avec les résultats de deuxième facteur.

#### IV. Corrélation entre les paramètres

Une ACP a été effectuée sur les six paramètres étudiés (HAP, PM, Proline et Chlorophylle a ; b et ab) dans l'ensemble des stations choisies pour mettre en évidence les relations existantes entre les différents paramètres.

##### IV.1. ACP pour *Xanthoria parietina*

L'ACP réalisée sur *Xanthoria parietina* appliquée sur nos données (Figure 30) a permis de visualiser la structuration de la variation totale des valeurs. Cette analyse révèle que les deux premières composantes portent à elles seules 97,03% de la variation totale. La première composante représentant 87,76% de cette information et la deuxième composante représente 9,27%.



**Figure 31.** Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur *Xanthoria parietina*.

Les résultats de la corrélation ont démontré que les paramètres physiologiques (Chlorophylle et Proline) et les paramètres de pollution (HAP et PM), présentent des corrélations significatives entre eux. La première composante représentant 87,76% de cette information et la deuxième composante représente 9,27%.

Une corrélation positive significative est ainsi observée entre les variables Chla et Chlb, avec un coefficient de corrélation de  $r = 0,98$ . (P). Une autre corrélation positive est enregistrée entre Chla et Chlab, avec un coefficient de corrélation de  $r = 0,89$ . En revanche, une corrélation négative est observée entre Chla et la proline, avec un coefficient de corrélation de  $r = -0,76$ .

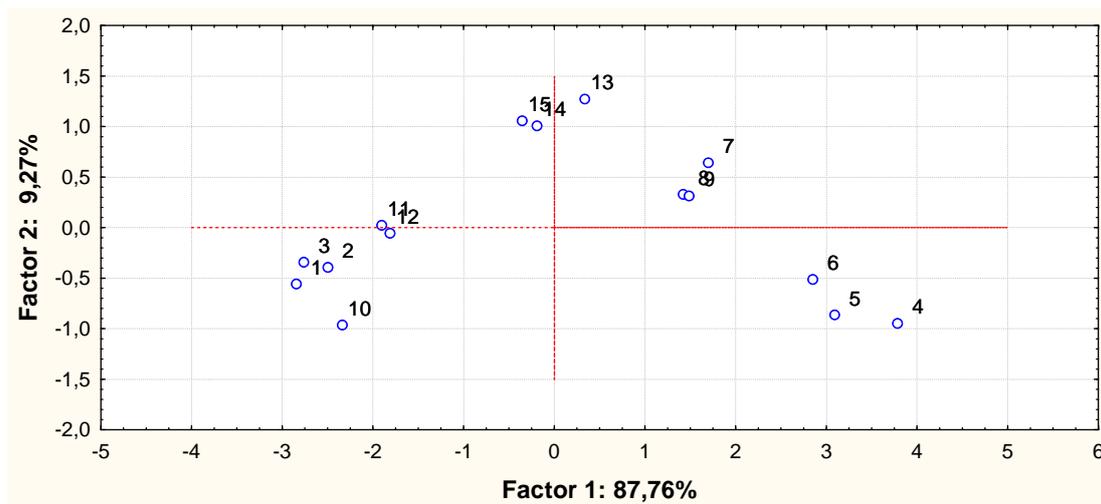
**Tableau 7.** Corrélation des paramètres mesurés avec les deux axes de cercle de corrélation.

Par ailleurs, le premier paramètre de pollution HAP montre une corrélation positive et

	HAP	PM	Proline	Chla	Chlb	Chlab
HAP	1,000000	0,923891	0,978356	-0,721815	-0,802874	-0,748575
PM	0,923891	1,000000	0,966287	-0,759119	-0,887916	-0,797092
Proline	0,978356	0,966287	1,000000	-0,756732	-0,854339	-0,779932
Chla	-0,721815	-0,759119	-0,756732	1,000000	0,895786	0,980021
Chlb	-0,802874	-0,887916	-0,854339	0,895786	1,000000	0,939272
Chlab	-0,748575	-0,797092	-0,779932	0,980021	0,939272	1,000000

significative avec le deuxième paramètre de pollution (PM). Cette corrélation est traduite par le coefficient de corrélation  $r = 0,92$ .

Le cercle de distribution des individus, représente les 15 sites d'échantillonnage. La figure 34, montre que les échantillons de la même station se regroupent dans le même espace du graphe.

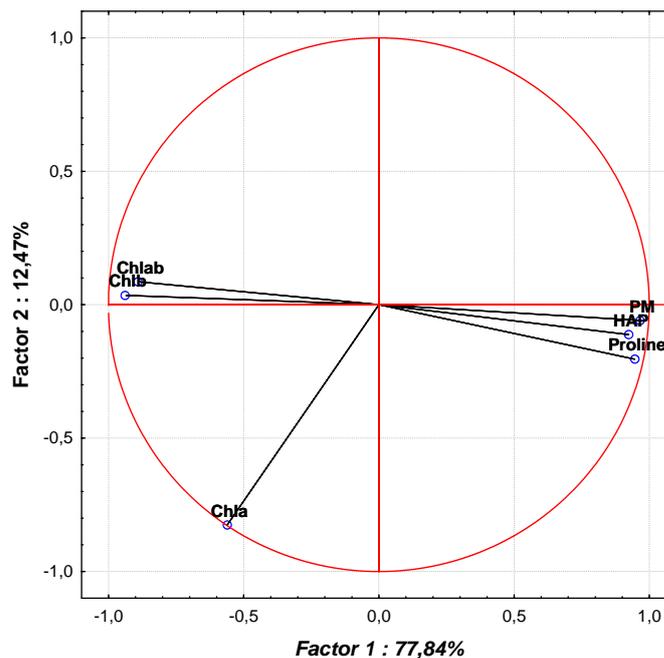


**Figure 32.** Distribution des individus dans le cercle de corrélation des *Xanthoria parietina*. Ainsi les sites 1, 2 et 3 qui proviennent de la station de Samaoune, sont proches. Donc ces trois sites partagent les mêmes informations concernant les différents paramètres étudiés. Ces mêmes sites de Samaoune collés à l'axe des abscisses, sont proches de ceux de la station de Melbou (10, 11 et 12) mais relativement éloignés des sites 13, 14 et 15 de la station Ait Smail qui sont collés à l'axe des ordonnées.

Par contre les sites 4, 5 et 6 qui appartiennent à la station d'Amizour sont regroupés dans le un espace loin des autres stations.

**IV.2. ACP pour *Bryum argenteum***

L'analyse des composantes principales a été effectuée sur les échantillons (Figure 35). Cela pour mettre une évidence entre les relations existantes entre les variables (Ch. a, Ch. b, Ch. ab, Proline, HAP, PM) à l'aide du cercle de corrélation. Les deux premières composantes portent 90 ,31% de la variation totale présentée par les différentes composantes de l'ACP réalisée sur nos résultats. La première composante représentant 77,84% de cette information et la deuxième composante représente 12 ,47%.



**Figure33**Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de Proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur *Bryum argenteum*.

Les résultats de la corrélation ont démontré que les paramètres physiologiques de la chlorophylle présentent des corrélations négatives entre eux. De plus corrélation positive significative est observée entre les variables Chl a et Chl b, avec un coefficient de corrélation de  $r = 0,97$ . Une autre corrélation positive est enregistrée entre Chl a et Chl ab, avec un coefficient de corrélation de  $r = 0,99$ . Par ailleurs une autre corrélation négative est observée entre Chl a et la proline, avec un coefficient de corrélation de  $r = -0,67$ . Enfin, les paramètres de pollution HAP montrent une corrélation positive significative avec PM, avec un coefficient de corrélation de  $r = 0,91$

**Tableau 8.** Corrélation des paramètres mesurés avec les deux axes de cercle de corrélation.

	HAP	PM	Proline	Chla	Chlb	Chlab
HAP	1,000000	0,919578	0,952193	-0,668874	-0,738956	-0,730188
PM	0,919578	1,000000	0,956883	-0,786438	-0,851704	-0,843217
Proline	0,952193	0,956883	1,000000	-0,749003	-0,824336	-0,812496
Chla	-0,668874	-0,786438	-0,749003	1,000000	0,978438	0,988193
Chlb	-0,738956	-0,851704	-0,824336	0,978438	1,000000	0,998010
Chlab	-0,730188	-0,843217	-0,812496	0,988193	0,998010	1,000000

Enfin, les paramètres de pollution HAP montrent une corrélation positive significative avec PM, avec un coefficient de corrélation de  $r = 0,91$  (Tableau 15)

Le cercle de distribution des individus, représente les 15 sites d'échantillonnage. La figure 36, montre que les échantillons de la même station se regroupent dans le même espace du graphe Parallèlement aux échantillons de lichens.

Les individus sur les cercles représentent les 15 sites d'échantillonnage. (La figure 36), montre que les sites 13, 14, 15 sont proches. Donc ces trois sites partagent les mêmes informations Par rapport aux différents paramètres étudiés et qui proviennent de la même station Ait Smail. Aussi les sites 7, 8 et 9 qui appartiennent à la station Barbacha figurent dans le même Carré. Donc ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec les autres.

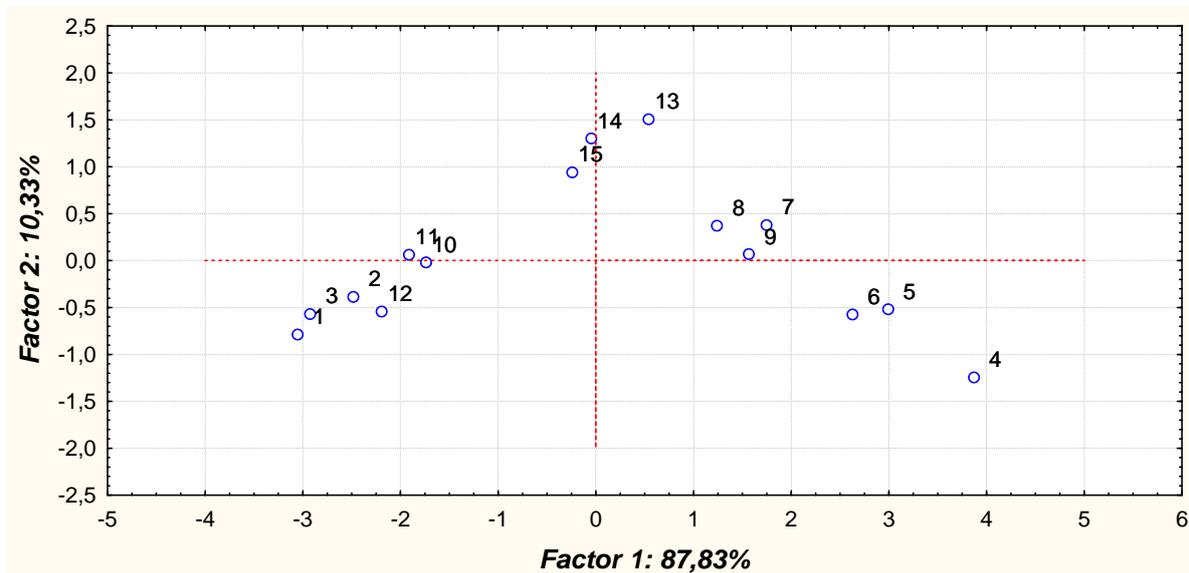


Figure 34. Distribution des individus dans le cercle de corrélation des *Bryum argenteum*.

## V. Discussion

Les lichens et les mousses sont des organismes particulièrement adaptés pour étudier les Polluants atmosphériques, qu'ils soient gazeux ou particulaires.

Selon les résultats obtenus par le présent travail, la pollution atmosphérique, notamment celle des HAP, varie considérablement selon les cinq stations étudiées. Les zones urbaines et suburbaines proches des axes routiers principaux, comme Amizour et Barbacha, montrent des concentrations élevées en HAP et en particules en PM, tandis que les zones forestières éloignées de l'activité humaine, comme Samaoune et Melbou, affichent les concentrations les plus faibles. En analysant l'accumulation des HAP dans les lichens et les mousses, nous pouvons classer les stations en trois catégories de pollution :

- Stations fortement polluées, comme Amizour, caractérisées par un trafic routier intense.
- Stations moyennement polluées ou suburbaines, telles que Barbacha, Melbou et Ait Smail.
- Station à faible pollution, comme Samaoune, située loin des activités humaines.

En comparant l'accumulation des bios accumulateurs, nous observons que *Xanthoria parietina* accumule davantage de HAP et de PM que *Bryum argenteum*. Les résultats indiquent que les stations les plus exposées à la pollution montrent des concentrations de chlorophylle faibles et des niveaux élevés de proline, signes d'un stress environnemental intense. La corrélation entre les concentrations élevées de particules en suspension (PM) et de HAP confirme cette tendance. En revanche, les stations moins polluées présentent des concentrations élevées de chlorophylle, indiquant une activité photosynthétique normale, ainsi que des niveaux de proline plus bas, suggérant un stress végétal moindre.

Concernant le paramètre de pollution HAP, notre valeur maximale de (855 ng/g) est une valeur considérablement élevée par rapport à celle trouvée dans la région de Bejaia par Abdoun & Abderrahmani en 2021 (449,3ng/g). Cette valeur est même supérieure à celle trouvée à la zone industrielle de Reghaia par Bouzerkone & Haddou en 2021 (690ng/g). Elle est dix fois plus supérieure que celle calculée par Azzoug et Merzoug (2023) sur des échantillons de chou frisé en suivant une approche de bio surveillance active. Cette dernière différence revient au fait que nos résultats sont issus d'une approche passive et que les lichens sont des bons bio accumulateurs. En revanche notre valeur maximale est inférieure à celle enregistrée à Bouira par Benaissa al., en 2018 (2222ng/g).

**Tableau 9.** Comparaison de nos résultats avec les résultats d’anciennes études.

	Béjaia ABDON, & Abderramani (2021)	Béjaia2022 Chennit,& Berkane (2022)	Bejaia Azzoug ,& Merzoug(2023)	Bouira Benaissa et al., (2023)	Beni Amrane Boudieb, & Iounici(2021)	Dellys Messaoud, & Lhasbellaoui (2021)	Réghaia Bouzerkone ,& Haddou (2021)	Présente étude
HAP	449, 3 (ng/g)	–	63(ng/g).	2222(ng/g) .	180 (ng/g)	313,9 (ng/g)	690 (ng/g)	66,66-855(ng/g)
PM	0,002(mg/g).	0,09(mg/g).	0,73(mg/g)	5,7(mg/g)	0,03(mg/g).	0,84(mg/g).	24,48(mg/g)	1,1-7,9(mg/g)
Chla	17,46(µg/g).	33,35(µg/g).	4,80(µg/g).	0,42-1,2(µg/g).	59(µg/g).	0,01 (µg/g)	38 (µg/g)	271,34 -934, (µg/g)
Chlb	67,07(µg/g).	30,5(µg/g).	2,80 µg/g).	–	32(µg/g).	0,01 (µg/g)	23(µg/g)	482,33 -1625 (µg/g)
Chlab	38,65(µg/g)	51(µg/g).	9,63(µg/g).	–	70(µg/g).	0,03(µg/g)	22(µg/g)	753 -2558(µg/g)
Proline	0,17(µg/g).	2,30 (µg/g).	0,09(µg/g).	0,05(µg/g).	0,15(µg/g)	0,05(µg/g)	0,07(µg/g)	13,66 -96,33 (µg/g)

Comme pour toutes les autres études sélectionnées (tableau 9), nos résultats sur ce paramètre montrent une corrélation avec les PM : lorsque le taux des HAP est élevé, nous observons également une concentration élevée de PM.

Dans la région de Réghaia où la concentration des PM est élevée, parallèlement à la région de Bouira 5,7 (mg/g).

Pour les paramètres physiologiques de la chlorophylle et de la proline, nous remarquons que nos concentrations sont les plus élevées par rapport à la région de Bejaia Abdoun & Abderrahmani en 2021 ; par Chennit, & Berkane en 2022 ;Azzoug ,& Merzoug en 2023 ; et la région de Bouira par Benaissa et al ;en 2023 Aussi a la région de Beni Amrane par Boudieb, & Iounici en 2021 ; et la région de Dellys par 2021Messaoud ,& Lhasbellaoui en 2021.

## Conclusion

En conclusion, la pollution pose un sérieux danger pour l'environnement et la santé humaine, nécessitant une surveillance et des recherches continues. Il est essentiel d'évaluer régulièrement et de manière fiable la qualité de l'air pour comprendre l'ampleur des problèmes et mettre en place des mesures efficaces pour les réduire.

La présente étude s'inscrit dans cette problématique. Elle a pour objectif d'évaluer la qualité de l'air en termes d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de particules en suspension (PM), en utilisant les lichens « *Xanthoria parietina* » et les mousses « *Bryum argenteum* » comme bioaccumulateurs de pollution dans la région de Béjaia.

La détérioration du milieu naturel affecte en premier lieu les caractères morphologiques et physiologiques des végétaux. Pour cette raison, nos analyses en laboratoire se concentrent sur la mesure des paramètres de pollution (HAP et PM) ainsi que des paramètres physiologiques, notamment la chlorophylle (Chlorophylle a, Chlorophylle b et Chlorophylle ab) et la proline.

Nos résultats ont dégagé des différences significatives à très hautement significatives entre les stations concernant l'accumulation des polluants. Les teneurs en HAP enregistrées chez les deux bioaccumulateurs dans les différentes stations étudiées sont très variables, avec des valeurs comprises entre « 66,66 ng/g et 855,66 ng/g » pour *Xanthoria parietina* et entre « 46,66 ng/g et 855,66 ng/g » pour *Bryum argenteum*. Cette concentration est particulièrement élevée à Amizour et Barbacha par rapport aux autres stations, en raison de leur proximité avec des zones industrielles et des axes routiers à fort trafic automobile, qui sont donc représentées comme des sites urbains et suburbains.

Selon le test de l'ACP (analyse de composante principale), les teneurs en PM sont positivement corrélées avec les concentrations en HAP enregistrées avec un facteur de corrélation de 0,92 chez les lichens et  $r=0,91$  chez les mousses. Les résultats montrent également des valeurs plus élevées à Amizour, avec 7,33 mg/g pour *Xanthoria parietina* et 6,26 mg/g pour *Bryum argenteum*, comparativement aux autres stations qui affichent des valeurs moindres.

La teneur en chlorophylle est largement utilisée comme indicateur pour évaluer l'état général des plantes, constituant ainsi un excellent biomarqueur de la pollution (Tripathi, 1999). Globalement, les concentrations de chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle ab

## Conclusion

suivent une tendance similaire, avec les valeurs les plus élevées enregistrées à la station de Samaoune. Selon Folly (2000), le métabolisme de la chlorophylle est un processus biochimique particulièrement visible chez les végétaux. Cela indique que le niveau de pollution à Samaoune n'est pas particulièrement élevé.(Folly, 2000).

Les concentrations de proline sont élevées au niveau d'Amizour et Barbacha, comparativement aux autres stations telles que Samaoune, Melbou et Ait Smail, où les niveaux de proline ne sont pas significativement élevés. Cet acide aminé constitue un marqueur de résistance des plantes aux contraintes environnementale (Bouchoukh, 2010).

La variation spatiale entre les différentes stations a été confirmée par le test ANOVA à deux facteurs, révélant des différences significatives à très hautement significatives pour l'ensemble des paramètres avec des valeurs de  $p < 0,05$ . Des différences significatives ont également été observées dans l'accumulation des paramètres étudiés entre les deux bioaccumulateurs, *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum*.

L'architecture des mousses et des lichens et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Fernandez, 2002).

Au cours de la réalisation de ce travail, plusieurs obstacles ont été rencontrés, principalement sur le plan matériel.

Tout d'abord, il était difficile de trouver des stations où les lichens et les mousses se trouvent ensemble afin d'effectuer l'échantillonnage.

Nous avons également été confrontés à un manque de matériel de laboratoire et à des quantités insuffisantes de réactifs. Ainsi, bien que notre faculté dispose de deux appareils Soxhlet, nous n'y avons pas eu accès, ce qui nous a obligés de nous rendre à l'université de Bouira.

Enfin, le temps insuffisant nous a forcés à réduire le nombre des stations .Nous n'en avions prévu 10, mais finalement, nous n'en avons fait que 5.

Pour les prochaines recherches nous proposons les perspectives suivantes :

- Explorer l'utilisation de différentes espèces végétales ou d'organes végétaux alternatifs, ainsi que l'étude des autres paramètres biologiques.
- Augmenter la fréquence et la diversité des campagnes de prélèvement lors de l'étude.
- Faire des recherches dans différentes saisons et conditions météorologiques permettra d'étudier les effets des conditions météorologiques sur la pollution.

## *Conclusion*

- Mettre en place des études de longue durée pour suivre l'évolution des paramètres biologiques et des niveaux de pollution au fil du temps, afin de comprendre les tendances et les effets à long ter



# Liste de Références

- Abderrahmani , A & Abdoun ,S bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAPs et les PM dans la ville de Bejaia en utilisant Xanthoria parietina .Univ A Mira –Béjaia (2021).
- A. T. Rossano,T. A. Rolander. (1978). Organisation et fonctionnement des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. (M. J. CRAXFORD, Éd.) *Manuel de gestion de la qualité de l'air des villes* (1), pp. 161-184.
- AEE (Agence Européenne pour l'Environnement). (2014). Air quality in Europe. Publications Office of the European Union.
- Agnan, Y. (2013). *Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passé en métaux et en azote en France : sources ,mécanismes ,et facteurs d'influences*. Thèse de doctorat en Biogéochimie de l'environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), Toulouse.
- Ait Hammou M., Sarmoum M., Maatoug M. (2011). Intérêt de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique pour les pays en émergence. Exemple de l'Algérie. *Pollution atmosphérique* , pp. 71-76.
- Albinet, A. (2006). Simultaneous analysis of oxygenated and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons on standard reference material 1649a (urban dust) and on natural ambient air samples by gas chromatography–massspectrometry with negative ion chemical ionisation. *Journal of Chromatography* , 106-113.
- Allag, F. (2016). *Contribution à l'étude de la dispersion des polluants*. Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif-1.
- Allahnouri, MGHaseemi Aghbash, FPazhouhan, I. (2018). Traffic effects on leaf macro- and micro-morphological traits. *Folia Oecologica*, 45 (2), pp. 92-101.
- Allemant R., Joslain H., Houssay I., & Cyprien A.-L. (1996). The use of lichens for estimating ammonia air pollution in Western France.
- Ares, Á.Ángel Fernández, J.Ramón Aboal, J.Carballeira, A. (2011). Study of the air quality in industrial areas of Santa Cruz de Tenerife (Spain) by active biomonitoring with *Pseudoscleropodium purum*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74 (3), pp. 533-541.
- Asta J., Erhardt W., Ferretti M., Fornasier F., Kirschbaum U., Nimis P. L., Purvis O. W., Pirintzos S., Scheidegger C., van Haluwyn C. (2002). *European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress*. British Lichen Society.
- Augusto S., Maguas C., Matos J., Joao Pereira M., Branquinho C. (2010). Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles. *Environmental Pollution*, 158, pp. 483-489.
- Azzoug , Y &Merzoug,A Bioaccumulation des HAP atmosphérique par le chou frisé à Bejaïa. Univ A Mira – Béjaia .(2023)
- Barakeh, Z. A. (2013). *Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs - méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution*.
- Barbottin, A. (2016). *Contribution à l'inventaire de la bryoflore des communautés saxicoles de la région Nord - Pas-de-Calais*.Thèse de Master, Université de Lille.
- Bargagli, R. (1993). Plant leaves and lichens as biomonitors of natural or anthropogenic emissions of mercury. (B. A. Markert, Éd.) *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment* , pp. 461-484.
- Belhadi hanane ,Hellal Benchaben,Ayad Nadéra, et Maatoug M'Hamed. (2011). *Quantification de la pollution atmosphérique dans le milieu urbain de Sidi Bel'Abbes (Algérie Occidentale)*.
- Bellenfant. (2010). Les Lichens: une Symbiose Exemple. *Revue Scientifique Bourgogne Nature* , p. 389.
- Belpomme, D., Irigaray, P., Hardell, L., Clapp, R., Montagnier, L., Epstein, S., Sasco, A.J. (2007). The multitude and diversity of environmental carcinogens. *Environmental Research*, 105 (3), pp. 414-429.

# Liste de Références

- Benaïssa ,F & Bourfis ,N & Ferhoum ,F, Annesi-Measan ,I Biomonitoring of Atmospheric PAHs and PMs Using *Xanthoria pareitina* and *Cupressus sempervirens* in Bouira (Algeria) . *Sustainability* 2023, 15,15174.
- Benjamin Golly, Christine Piot, Jean-Luc Jaffrezo, Guillaume Brulfert, Gérard Berlioux et Jean-Luc Besombes. (2015). *Source apportionment of PAHs in two Alpine valleys using Sulfur-containing Organic Compounds: industrial impact?*
- Berrayah, M. (2016). *Biosurveillance de la qualité de l'air à l'aide des lichens et des mousses dans le groupement urbain de*.Thèse de doctorat, Tlemcen .
- Blasco, M.; Domeno, C; Lopez P and Nerin C. (2011). Behaviour of different lichen species as biomonitors of air pollution by PAHs in natural ecosystems. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 2588-2596.
- Blasco, M.Domeño, C.Nerín, C. (2008). Lichens biomonitoring as feasible methodology to assess air pollution in natural ecosystems: Combined study of quantitative PAHs analyses and lichen biodiversity in the Pyrenees Mountains. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391 (3), pp. 759-771.
- Bouregghda, M. (2004). *Les effets du plomb sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques de quelques bioindicateurs de la pollution atmosphérique*. Université de Annaba.
- Bouzerkone I ,& Haddou, M Bioaccumulation des HAP atmosphériques par *Xanthoria parietina* dans la zone industrielle de Réghaïa Université M'hamedBougara de Boumerdes(2021)
- Boussouara, K. (2010). *Étude des émissions polluantes et des moyens de pollution dans les moteurs à combustion interne*. Thèse de doctorat en sciences en génie mécanique , Université de Constantine.
- Bradwell, T. (2010). Studies on the growth of *Rhizocarpon geographicum* in NW Scotland, and some implications for lichenometry. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 92, pp. 41-52.
- Breivik, a. e. (2006). *Atmospheric Emissions of Some Pops in Europe: A Discussion of Existing Inventories and Data Needs*. *Environmental*.
- Burgisser et Cailliau. (2012). *Les mousses : liste rouge, inventaire et initiation aux bryophytes du canton de Genève*. Edition Hors-série n°14.
- C., G. (s.d.). Lichens as indicators of air pollution. (T. H. Nash III, Éd.) *Lichen Biology* , pp. 240-254.
- Cancer, C. (. (2010). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Récupéré sur Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>
- Chennit, N& Berkane, Z Estimation de la pollution atmosphérique métallique dans la région de Bejaia en utilisant les écorces d'arbres. Univ A Mira –Béjaia (2022) .
- Clauzade et Roux . (1987). Généralités sur les lichens et leur détermination. *Bulletin de la Société Botanique Centre-Ouest* , p. 154.
- Colbeck, I. (2008). *Environmental chemistry of aerosols*. (Wiley-Blackwell, Éd.)
- Conti et Cecchetti. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment- a review. *Environmental Pollution*, 114, pp. 471-492.
- Craxford, S. R. (1978). *PRINCIPES GENERAUX DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR*.
- Damien, C. (2018). Les végétaux et les lichens sentinelles de la qualité de l'air. 8, p. 3.Danielle Claude Bilandaa, Théophile Dimo, Paul Désiré Dzeufiet Djomeni,Ndzana Martin Thierry Bella, Oumarou Bibi Farouck Aboubakar,Télesphore Benoit Nguelefack, Paul V. Tan,Pierre Kamtchouing. (2010). *Antihypertensive and antioxidant effects of *Allanblackia floribunda* Oliv.*

# Liste de Références

- De Nicola, F. Claudia, L. Maria Vittoria, P. Giulia, M. Anna, A. (2011). Biomonitoring of PAHs by using *Quercus ilex* leaves: Source diagnostic and toxicity assessment. *Atmospheric Environment*, 45 (7), pp. 1428-1433.
- De Temmerman, L., Bell, J. N. B., Garrec, J. P., Klumpp, A., Krause, G. H. M., & Tonneijck, A. E. G. (2001). Biomonitoring of air pollutants with plants – considerations for the future. *Urban Air Pollution*, p. 39.
- Desalme, D. (2011). *Contamination atmosphérique par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) Toxicité et devenir du phénanthrène dans des systèmes sol-plante-microorganismes*. Thèse de doctorat.
- DGAC, D. G. (2004). *Pollution atmosphérique et aviation. Aide mémoire*.
- DGNP, D. G. (2013). *Les mousses*. Département de l'intérieur, de la mobilité et de l'environnement, Genève.
- Domenó C., Blasco M., Sánchez C., Nerín C. (2006). A fast extraction technique for extracting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from lichen samples used as biomonitors of air pollution: dynamic sonication versus other methods. *Analytica Chimica Acta*, 569, 103-112.
- Duché, S. (2014). *La pollution de l'air en région parisienne : exposition et perception sur les sites touristiques*. Thèse de doctorat, géographie - dynamique des milieux et risques, Université Paris-Diderot - Paris VII.
- Dupont et Guignard. (2012). Botanique, les familles des plantes. (E. Masson, Éd.) 15<sup>ème</sup> Edition, pp. 13-21.
- Durif, Vandamme. (2004). *Utilisation d'une technique de biosurveillance pour évaluer les retombées de métaux lourds, Cas d'un site de seconde fusion du plomb*.
- EFSA. (2008). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain* (Vol. 724).
- Elichegaray, C. (2008). *La pollution de l'air sources, effets, prévention*. Editions Dunod.
- Fabure, J. (2009). *Étude d'accumulation et les effets des composés organiques volatils (BTEX) chez les bryophytes*. Thèse de doctorat, Lille Nord De France, Lille.
- Fernández, P. C. (2002). *Persistent organic pollutants in remote freshwater*. Rapport de recherche, Département de chimie de l'environnement, Jordi Girona 18-26, E-08034.
- Finlayson-Pitts, B.J., Pitts Jr, J.N., (2000). *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*.
- Fintz, E. (2014). *Recrudescence d'asthme et pollution atmosphérique*. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, Faculté des sciences pharmaceutiques, université Toulouse III – Paul Sabatier.
- Foan, L. M. (2012). *Biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes : suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles*. Institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse: Université de Toulouse.
- G. Dusserre, R. Cabridenc, P. Le Cloirec. (1998). Ecotoxicologie Des Cov. *Les Composés Organiques Volatils (COV) Dans L'environnement*.
- Garrec, Van Haluwyn. (2002). *Biosurveillance végétale de la qualité de l'air*. Paris.
- Garrec JP., Van Haluwyn C. (2002). *Biosurveillance végétale de la qualité de l'air - Concepts, méthodes et applications (Air quality biomonitoring with plants - Concepts, methods and applications)*. *Biosurveillance végétale de la qualité de l'air*. Paris.
- Garrec, J. P. (2007). *L'expertise technique et scientifique de référence*. Laboratoire Pollution Atmosphérique, INRA – Centre de Recherche de Nancy.
- Genies, C. (2013). *Génotoxicité des hydrocarbures aromatiques polycycliques en mélanges, une classe majeure de polluants atmosphériques*. Université de Grenoble.
- Gérin, M. Appenzeller, B. M. R. Dor, F. (2003). Contribution of chemistry to environmental research in developing countries. *Pure and Applied Chemistry*, 75 (11-12), pp. 2271-2277.

# Liste de Références

- Ghennam, Abdoun. (2017). Biosurveillance par S.I.G. de la qualité de l'air d'une cité méditerranéenne (Alger), diversité lichénique, indice de pureté atmosphérique (I.P.A) et indice d'impact humain (I.I.H.). *Revue d'Écologie*, 72, pp. 134-146.
- Golly, B. (2014). *Étude des sources et de la dynamique atmosphérique de polluants organiques particuliers en vallées alpines : apport de nouveaux traceurs organiques aux modèles récepteurs*. Thèse de doctorat en chimie, France. 267p.
- Gombert S., Galsomiès L., Rausch de Traubenberg C. (2005). *Pollution atmosphérique par les métaux : biosurveillance des retombées*. (E. Sciences, Éd.)
- Gries, C. (1996). Lichens as indicators of air pollution. (T. H. Nash III, Éd.) *Lichen Biology*, pp. 240-254.
- Guéguen, F., Stille, P., Millet, M. (2011). Air quality assessment by tree bark biomonitoring in urban, industrial and rural environments of the Rhine Valley: PCDD/Fs, PCBs and trace metal evidence. *Chemosphere*, 85, pp. 195-202.
- Guillon, A. (2011). *Étude de la composition isotopique moléculaire (d13C) comme traceur de source qualitatif et quantitatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particuliers dans l'atmosphère*. Chimie Analytique et Environnement. Université Bordeaux 1.
- Haryanto, B. (2012). *Air Pollution – A Comprehensive Perspective*. These de doctorat.
- Hawksworth, Rose. (1970). Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. 227, pp. 145-148.
- Holoubek, I. Klanova, J. Jarkovsky, J. Kohoutek, J. Cupr, P. (2000). Use of native mosses (*Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens*) as bioindicators of atmospheric contamination in the Czech Republic. *Environmental Science and Pollution Research*, 7 (1), pp. 23-28.
- Hugo, C. (2022). *Bioindication de la qualité de l'air par les lichens à Louvain-la-Neuve : état des lieux de la biodiversité et approche par les sciences participatives*. Thèse de doctorat.
- IARC. (2010). *Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- INERIS, R. C. (2005). *Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - Guide méthodologique*.
- INRS, C. S. (2012). *Produits chimiques cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction*. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité.
- Jorda, S. (2004). Les mousses, classification. *Le Monde Vivant*, p. 5.
- Kermia et Yahiaoui. (2017). *Utilisation des bioindicateurs végétaux (*Rhynchostegium riparioides*) dans la surveillance des émissions de la cimenterie de Sour El Ghozlane*. Thèse, Université de Bouira.
- Khelill, R. (2016). *Bioindication et bioaccumulation : Deux modèles biologiques pour la détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures dans la région de Ouargla*. Université de Ouargla.
- Lacour, S. (2009). *Cours de pollution atmosphérique. Inventaires d'émissions rapport de recherche*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, CEREA: Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique.
- Le Corfec, Y. (2011). *Sites et sols pollués - Gestion des passifs environnementaux*.
- LeBlanc, Sloover. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. 48, pp. 1485-1496.
- Lehndorff, E. Schwark, L. (2004). Biomonitoring of air quality in the Cologne Conurbation using pine needles as a passive sampler - Part II: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). *Environmental Science and Pollution Research*, 11 (8), pp. 378-384.

# Liste de Références

- Lehr R., Jerina DM. ( 1977). *Metabolic activations of polycyclic hydrocarbons. Archives .*
- Lin, Y.-C. W.-J.-C. (2006). PAH emissions and energy efficiency of palm-biodiesel blends fueled on diesel generator. *Atmospheric Environment*, 40 (21), pp. 3930-3940.
- Loppi et Bonini. (2000). Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in areas with thermal springs and fumarole activity (Mt. Amiata, central Italy). *Chemosphere*, 41, pp. 1333-1336.
- MAATOUG, M. (2011). *Interest of vegetal biomonitoring for air quality in emerging countries: Algeria example.*
- Maizi, N. (2012). *Caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bioindicateurs végétaux : un lichen (Ramalina farinacea), une mousse (Funaria hygrometrica) et quelques espèces phanérogamiques dans la région de Annaba (Algérie).* Université d'Annaba.
- Markert B., Breure M., Zeichmeister H. (2003). *Bioindicators & biomonitors: principles, concepts, and applications.* (Elsevier, Éd.) Elsevier.
- Martin et Maystre. (1988). *Santé et Pollution de l'Air.* Lausanne: Presse Polytechniques Romandes.
- Martinez-Swatson K, Miha'ly E, Lange C, Ernst M, Dela Cruz M, Price MJ, Mikkelsen TN, Christensen JH, Lundholm N., and Rønsted N. (2020). Biomonitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Deposition in Greenland Using Historical Moss Herbarium Specimens Shows a Decrease in Pollution During the 20th Century. *Frontiers in Plant Science*, 11, p. 1085.
- Masclat, P. (2005). *Pollution atmosphérique : causes, conséquences, solutions et perspectives.* Editions Ellipses.
- Mathé, H. G. (1998). *La mesure des particules en suspension dans l'air ambiant : Applications dans les réseaux français de surveillance de la qualité de l'air.* École des Mines de Douai, Département Chimie et Environnement.
- Mathieu, G. (2006). *Etude des artefacts de prélèvement et de la distribution gaz-particules des HAP.* Aix-Marseille I. France: Océan, Atmosphère. Université de Provence.
- Mayer, H. (1999). *ir pollution in cities* (Vol. 33).
- Messaoud ,S& Lhasbellaoui, S *Biosurveillance des Hydrocarbures aromatique polycyclique (HAP) atmosphérique à l'aide des Lichens (Xanthoria parietina) dans la ville de Dellys Université M'hamedBougara de Boumerdes(2021).*
- Merabet, H. (2021). *Composition minérale et organique des aérosols naturels et anthropiques et leur distribution de taille dans l'atmosphère.* Thèse de doctorat, Génie de l'environnement, Algérie.
- M'Hamed MAATOUG(1), Mohamed AIT HAMMOU\*, Mohamed SARMOUM\*. (2011). Interest of vegetal biomonitoring for air quality in emerging countries:Algeria example.
- MT Piccardo, R Coradeghini, F Valerio. (2001). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Pollution in Native and Caged Mussels. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (10), 951-956.
- Mukhopadhyay, D. D. (2020). A critical review on plant biomonitors for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air through solvent extraction techniques. p. 21.
- Nadéra, A. (2011). *Quantification de la pollution atmosphérique dans le milieu urbain de Sidi Bel'Abbes (Algerie Occidentale).*
- Nardin, D. (2000). *L'embranchement des bryophytes ou "mousses.*
- Nash, T. (Éd.). (2008). *Lichen Biology.* New York: Cambridge University Press.
- Nash, T. (1996b). Nutrients, elemental accumulation and mineral cycling. (C. University Press, Éd.) *Lichen Biology* , pp. 136-153.

# Liste de Références

- Niu, L., Xu, C., Zhou, Y., Liu W. (2019). Tree bark as a biomonitor for assessing the atmospheric pollution and associated human inhalation exposure risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in rural China. *Environmental Pollution*, 246, pp. 398-407.
- Oikari. (2006). Caging techniques for field exposures of fish to chemical contaminants. *Aquatic Toxicology* , pp. 370–381.
- OMS. (2022). *Rapport mondial sur la qualité de l'air 2022 : l'Algérie dans la moyenne*. Scientifique.
- ORS. (2007). *Les composés organiques volatils (COV)*. Observatoire régional de santé d'Île-de-France.
- Ozenda et Clauzade . (1970). *Les Lichens: Étude Biologique et Flore Illustrée*. Paris: EDI Masson & Cie.
- Ozenda, P. (1990). Sur la division phytoécologique de l'Europe. *Ecologia Mediterranea*, XVI, pp. 299-315.
- Pacyna et Pacyna. (2001). An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environmental Reviews*, 9, pp. 269-298.
- Pacyna, R. e. (2009). *Earth's global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles*. *Global Biogeochemical*.
- Pierre, M. (2013). *Pollution atmosphérique Causes, conséquences ,solutions,perspectives* (Vol. 213). France: ellipses.
- Ramade, F. (2002). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*. (Dunod, Éd.) Paris, France: 2ème édition.
- Rauch J. N., P. J. (2009). Earth's global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles. *Global Biogeochemical*. 23: 16.
- Ristić, S.S; Kosanić, M.M; Ranković, B.R and Stamenković, S.S. (2017). Lichens as biological indicators of air quality in the urban area of Kuršumlija (Southern Serbia). *Kragujevac Journal of Science*, 39, pp. 165-175.
- Rocca, B. V.-I. (2004). *Mise au point et validation sur sites contaminés (ETM-HAP) d'un test de biosurveillance en microcosme : croissance et bioaccumulation par gastéropode terrestre Helix Aspersa Aspersa*.
- Sampic, J. (2005). *Evolution de la qualité de l'air en France*.
- Sayefeddin, M. (2022). *Le confort, La qualité de l'Aire*.
- Schneider, T. (1978). *SYSTEMES AUTOMATIQUES DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR. MANUEL DE GESTION DE LA QUALITE DE L'AIR DES VILLES* , p. 187\_199.
- Silva et Cailliau . (2018). Bryophytes de la Réserve Biologique de Pedra Talhada. (L. N. A. Studer, Éd.) *Edition Biodiversité de la Réserve Biologique de Pedra Talhada (Alagoas, Pernambuco-Brésil)* .
- Sims R., Overcash MR. (1988). Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil-plant systems. *Residue Revision*, 88, pp. 1-68.
- Stern, C. D. (1978). *ASPECTS ECONOMIQUES DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR*.
- SUESS, M. J., & CRAXFORD, S. R. (1978). *The Environment as a Chemical System: A Review of the Atmospheric Pathways of Pollutants*. *Environmental Science & Technology*. p. 37\_51.
- Szczepaniak K. Biziuk M. (2003). Aspects of biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environmental Research*, 93, pp. 221-230.
- USEPA. (1984). *Review and evaluation of the evidence for cancer associated with air pollution: EPA*.

# Liste de Références

Van Haluwyn . Lerond . (1986). *Les lichens et la qualité de l'air, évolution méthodologique et limites*. Ministère de l'Environnement, Paris.p. 334p.

Watts , Ballestero ,Gardner . (2006). *Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in salt marsh plants Spartina alterniflora grown in contaminated sediments*.

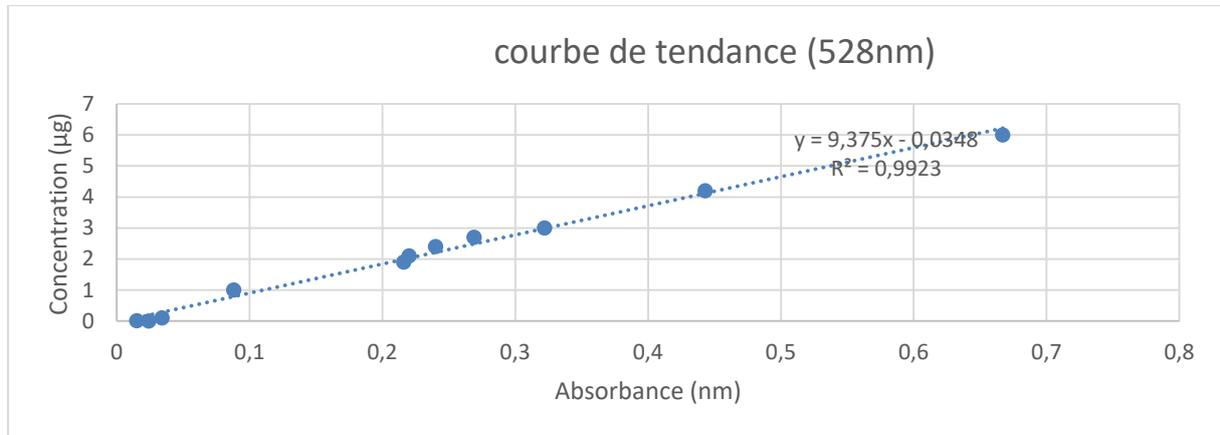
Wolterbeek, B. (2002). Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120, pp. 11-21.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization . Genève.

Xavier Amelot et Véronique André-Lamat. (2009). *La nature enfermée ou l'aire protégée comme norme de protection d'un bien commun menacé*. Scientifique .

# Annexe

## Annexe 1 : La courbe d'étalonnage de la proline



## Annexe 2 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs pour l'ensemble des paramètres étudiées

Test de l'ANOVA pour les HAP.

	Stations	Espèces	{1} - 66,667	{2} - 46,667	{3} - 846,67	{4} - 610,00	{5} - 390,00	{6} - 296,67	{7} - 123,33	{8} - 73,333	{9} - 220,00	{10} - 113,33
1	Samaoune	Xanthoria parietina		0,764	0,000	0,000	0,000	0,002	0,400	0,920	0,030	0,487
2	Samaoune	Bryum argenteum	0,764		0,000	0,000	0,000	0,001	0,258	0,690	0,016	0,324
3	Amizour	Xanthoria parietina	0,000	0,000		0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Amizour	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,001		0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	Barbacha	Xanthoria parietina	0,000	0,000	0,000	0,003		0,172	0,000	0,000	0,017	0,000
6	Barbacha	Bryum argenteum	0,002	0,001	0,000	0,000	0,172		0,016	0,002	0,258	0,011
7	Melbou	Xanthoria parietina	0,400	0,2581	0,000	0,000	0,000	0,016		0,457	0,158	0,880
8	Melbou	Bryum argenteum	0,920	0,690	0,000	0,000	0,000	0,002	0,457		0,037	0,550
9	Ait Smail	Xanthoria parietina	0,030	0,016	0,000	0,000	0,017	0,258	0,158	0,037		0,121
10	Ait Smail	Bryum argenteum	0,487	0,324	0,000	0,000	0,000	0,011	0,880	0,550	0,121	

Test de L'ANOVA pour les PM.

	Stations	Espèces	{1} - 1,1100	{2} - ,66667	{3} - 7,9333	{4} - 6,2667	{5} - 5,7667	{6} - 4,9333	{7} - 2,0667	{8} - 1,0667	{9} - 2,3333	{10} - 1,733 3
1	Samaoune	Xanthoria parietina		0,340	0,000	0,000	0,000	0,000	0,048	0,924	0,014	0,185
2	Samaoune	Bryum argenteum	0,340		0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,389	0,001	0,029
3	Amizour	Xanthoria parietina	0,000	0,000		0,001	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Amizour	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,001		0,284	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
5	Barbacha	Xanthoria parietina	0,000	0,000	0,000	0,284		0,081	0,000	0,000	0,000	0,000
6	Barbacha	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,00002	0,008	0,081		0,000	0,000	0,000	0,000
7	Melbou	Xanthoria parietina	0,048	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000		0,039	0,563	0,471
8	Melbou	Bryum argenteum	0,924	0,389	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039		0,011	0,157

# Annexe

9	Ait Smail	Xanthoria parietina	0,014	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,563	0,011		0,201
10	Ait Smail	Bryum argenteum	0,185	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,471	0,157	0,201	

Test d'ANOVA pour Chla

	Stations	Espèces	{1} - 93,000	{2} - 906,33	{3} - 26,667	{4} - 271,00	{5} - 35,000	{6} - 331,67	{7} - 83,333	{8} - 744,67	{9} - 38,667	{10} - 332,33
1	Samaoune	Xanthoria parietina		0,000	0,074	0,000	0,116	0,000	0,787	0,000	0,139	0,000
2	Samaoune	Bryum argenteum	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	Amizour	Xanthoria parietina	0,074	0,000		0,000	0,815	0,000	0,124	0,000	0,737	0,000
4	Amizour	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,000		0,000	0,101	0,000	0,000	0,000	0,097
5	Barbacha	Xanthoria parietina	0,116	0,000	0,815	0,000		0,000	0,186	0,000	0,918	0,000
6	Barbacha	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,000	0,101	0,000		0,000	0,000	0,000	0,985
7	Melbou	Xanthoria parietina	0,787	0,000	0,124	0,033	0,186	0,000		0,000	0,2200	0,000
8	Melbou	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
9	Ait Smail	Xanthoria parietina	0,139	0,000	0,737	0,002	0,918	0,000	0,220	0,000		0,000
10	Ait Smail	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,000	0,097	0,000	0,985	0,000	0,000	0,000	

Test d'ANOVA pour Chlb

	Stations	Espèces	{1} - 1628,0	{2} - 906,33	{3} - 47,667	{4} - 271,00	{5} - 60,000	{6} - 331,67	{7} - 1435,0	{8} - 744,67	{9} - 692,67	{10} - 332,33
1	Samaoune	Xanthoria parietina		0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,004	0,000	0,000	0,000
2	Samaoune	Bryum argenteum	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,002	0,000
3	Amizour	Xanthoria parietina	0,0000	0,000		0,001	0,841	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Amizour	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,001		0,002	0,330	0,000	0,000	0,000	0,325
5	Barbacha	Xanthoria parietina	0,000	0,000	0,841	0,002		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	Barbacha	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,000	0,330	0,000		0,000	0,001	0,000	0,991
7	Melbou	Xanthoria parietina	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
8	Melbou	Bryum argenteum	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,402	0,000
9	Ait smail	Xanthoria parietina	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,402		0,000
10	Ait smail	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,0003	0,325	0,000	0,991	0,000	0,0000	0,000	

Test de l'ANOVA pour Chl ab

Stations	Espèces	{1} - 2558,0	{2} - 2456,0	{3} - 753,33	{4} - 649,00	{5} - 962,67	{6} - 877,33	{7} - 2300,7	{8} - 2071,7	{9} - 1084,0	{10} - 1047,3
Samaoune	Xanthoria parietina		0,435	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,001	0,000	0,000
Samaoune	Bryum argenteum	0,435		0,000	0,000	0,000	0,000	0,239	0,007	0,000	0,000
Amizour	Xanthoria parietina	0,000	0,000		0,425	0,118	0,344	0,000	0,000	0,017	0,032
Amizour	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,425		0,023	0,090	0,000	0,000	0,002	0,005
Barbacha	Xanthoria parietina	0,000	0,00	0,118	0,023		0,513	0,000	0,000	0,355	0,516
Barbacha	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,344	0,090,	0,513		0,000	0,000	0,122	0,199
Melbou	Xanthoria parietina	0,058	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000		0,089	0,000	0,000
Melbou	Bryum argenteum	0,001	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,089		0,000	0,000
Ait Smail	Xanthoria parietina	0,000	0,000	0,017	0,002	0,355	0,122	0,000	0,000		0,777
Ait Smail	Bryum argenteum	0,000	0,000	0,032	0,005	0,516	0,199	0,000	0,000	0,777	

# Annexe

## Test d'ANOVA pour la proline

	Stations	Espèces	{1} - 13,667	{2} - 11,100	{3} - 96,333	{4} - 87,333	{5} - 61,667	{6} - 49,667	{7} - 23,667	{8} - 17,000	{9} - 31,667	{10} - 24,333
1	Samaoune	<i>Xanthoria parietina</i>		0,430	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,308	0,000	0,003
2	Samaoune	<i>Bryum argenteum</i>	0,430		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,078	0,000	0,000
3	Amizour	<i>Xanthoria parietina</i>	0,000	0,000		0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Amizour	<i>Bryum argenteum</i>	0,000	0,000	0,010		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	Barbacha	<i>Xanthoria parietina</i>	0,000	0,000	0,000	0,000		0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
6	Barbacha	<i>Bryum argenteum</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001		0,000	0,000	0,000	0,000
7	Melbou	<i>Xanthoria parietina</i>	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,049	0,020	0,836
8	Melbou	<i>Bryum argenteum</i>	0,308	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049		0,000	0,032
9	Ait Smail	<i>Xanthoria parietina</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000		0,032
10	Ait Smail	<i>Bryum argenteum</i>	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,836	0,032	0,032	

## Résumé

Cette étude se concentre sur l'utilisation de *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* en tant que bio accumulateurs pour évaluer la pollution atmosphérique par les HAP dans cinq stations de la région de Bejaia. Des paramètres physiologiques de la chlorophylle et de la proline ont été mesurés et les polluants atmosphériques de HAP et des PM ont été quantifiés au sein des stations d'étude. Les résultats ont révélé des variations significatives entre les stations concernant l'accumulation par les bioaccumulateurs, montrant que les lichens ont une capacité d'accumulation plus élevée que les mousses. En particulier, la station d'Amizour a présenté les concentrations les plus élevées avec (1006,66 ng/g) pour *Xanthoria parietina* et (399,49ng/g) pour *Bryum argenteum*. Le test ACP a révélé des corrélations positives importantes entre les deux paramètres de pollution HAP et PM ( $r = 0,923$  pour *Xanthoria parietina* et  $r = 0,919$  pour *Bryum argenteum*) ainsi qu'une corrélation négative entre les paramètres physiologiques (Chla, Chl b, Chl ab et la proline). Ce travail souligne l'efficacité potentielle de *Xanthoria parietina* et *Bryum argenteum* dans la surveillance de la pollution atmosphérique, mettant en lumière l'importance de poursuivre de telles études pour comprendre les impacts environnementaux des activités anthropiques.

**Mots-clés :** Bioindicateurs, *Xanthoria parietina*, *Bryum argenteum*, HAP, Pollution atmosphérique, Bejaia, Paramètres physiologiques.

## Abstract

It consists on the use of *Xanthoria parietina* and *Bryum argenteum* as bioaccumulators of atmospheric pollution from HAP in five stations in the Béjaia region. The physiological parameters of the chlorophyll and the proline are available and the pollutants atmospheric HAP and PM are quantified at these stations. The results include significant variations at the stations concerned with accumulation by the bioaccumulators, ensuring that the lichens on a higher accumulation capacity than the mice. In particular, the device detects higher concentrations (1006.66 ng/g) for *Xanthoria parietina* and (399.49 ng/g) for *Bryum argenteum*. The ACP test results in positive correlations that are important in the parameters of HAP and PM pollution ( $r = 0.923$  due to *Xanthoria parietina* and  $r = 0.919$  in *Bryum argenteum*) because there is a negative correlation in the physiological parameters (Chla, Chl B, Chl). ab and proline). This improves the effectiveness of the *Xanthoria parietina* and argent bacteria in the surveillance of atmospheric pollution, reducing the import of light to provide techniques to understand environmental impacts on anthropogenic activities.

**Keywords:** Bioindicators, *Xanthoria parietina*, *Bryum argenteum*, HAP, Atmospheric Pollution, Béjaia, physiological parameters.

## ملخص

تتركز هذه الدراسة على استخدام *Xanthoria parietina* و *Bryum argenteum* كمؤشرات حيوية لتقييم تلوث الهواء بالهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (HAP) في خمس محطات بمنطقة بجاية. تم تحليل العينات لقياس تركيزات الكلوروفيل وتقييم مستويات HAP والجزيئات العالقة (PM). أظهرت النتائج تباينات ملحوظة بين المحطات بالنسبة للمجمعات الحيوية، وقد تم تأكيد ذلك من خلال تحليل التباين (ANOVA). كشفت تحليل المكونات الرئيسية (ACP) عن ارتباطات إيجابية مهمة بين معلمي التلوث HAP و *Xanthoria parietina* ( $r = 0.923891$ ) و *Bryum argenteum* ( $r = 0.919578$ )، بالإضافة إلى ارتباط سلبي بين المعلمات الفسيولوجية (Chl a، Chl b، Chl ab، البرولين). تؤكد هذه البحث على الفعالية المحتملة لـ *Xanthoria parietina* و *Bryum argenteum* في مراقبة تلوث الهواء الصناعي، مما يساهم في استمرار مثل هذه الدراسات لفهم التأثيرات البيئية للأنشطة الصناعية.

الكلمات المفتاحية: مؤشرات حيوية، *Xanthoria parietina*، *Bryum argenteum*، HAP، تلوث الهواء، بجاية، كلوروفيل، a، b، ab