

*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 de biologie physico-chimique  
Spécialité : Biochimie fondamentale



Réf : .....

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

*Thème*

**Valorisation de *Xanthoria parientina* et de *Polytrichum formosum*  
dans la région de Béjaïa**

Présenté par :

**HAMACHE Lamia & BOUMEGUET Macilia**

Soutenu le : 09 juillet 2024

Devant le jury composé de :

Mme AIT ALI D.	MCA	Présidente
Mme BENAISSE F.	Professeur	Encadrante
Mme BEDJOU F.	Professeur	Examinateuse

**Année universitaire : 2023/2024**

## **Remerciement**

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Je remercie tout particulièrement ma directrice de recherche, Dr. Benaissa Fatima pour son encadrement, ses conseils précieux et son soutien tout au long de ce travail. Ses remarques pertinentes et son expertise ont été d'une aide inestimable.*

*Un merci très spécial pour l'ingénieur de laboratoire technologie alimentaire Mme Imadalou, et l'ingénieur du laboratoire biochimie qui nous ont vraiment aidés dans nos moments les plus difficiles pour réaliser ce travail.*

*Nos remerciements les plus sincères aux membres du jury Mme Bedjou et Mme Ait-Ali pour avoir accepté de prendre un peu de leur précieux temps afin de juger et évaluer ce modeste travail.*

*Je souhaite également remercier Kecha Yanis Lounas pour son aide lors de la pratique.*

*Un vif remercier pour tous les enseignants du département de Biologie physico-chimie et tous nos camarades de Master 2 Biochimie fondamentale.*

*Nos remerciements sont adressés à tous ceux qui ont participés de près ou de loin à la réussite de ce travail.*

## Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, je leur

souhaite une longue vie pleine de bonheur

A ma chère sœur Rachida et mes frères Sidali et Amine et toute ma famille qui m'ont soutenu même

à distance, je vous souhaite de succès et du bonheur

A mes chères amies avec qui j'ai partagé le but et le parcours

A mon binôme Lamia et sa famille et notre amie Yamina

A mes enseignants merci d'être des messagers de savoir

A toute la promotion de master 2 biochimie fondamental  
(2023/2024)

A tous ceux qui ont cru en moi

A moi-même d'être allé jusqu'au bout

Macilia

## Dédicace

*Avec tous mes sentiments de respect, je dédie ma remise de diplôme  
À l'homme de ma vie, à mon père Abdellazize, celui qui s'est toujours  
sacrifié sa vie pour moi, j'aurais aimé qu'il soit présent aujourd'hui avec  
moi pour voir le fruit de ces efforts, tu as quitté le monde mais jamais  
nos coeurs.*

*À la lumière de ma vie, ma chère maman Saliha, qui a toujours cru en  
moi, même dans les moments les plus difficiles, et c'est grâce à elle que  
j'ai pu arriver jusqu'ici.*

*Une dédicace spéciale à mon frère Billel, tu es ma source  
d'inspiration et de motivation, merci pour ton encouragement.*

*À mes chères sœurs Souhila, Kahina, Dehia et Tinhinene pour leur  
amour et leur soutien indéfectibles, sans votre aide précieuse, ce  
chemain aurait été difficile.*

*À mon neveu Dylan, je te souhaite que de la réussite.*

*À toute la famille Hamache et Tamarat.*

*À ma binome Macilia et sa famille et notre amie Yamina.*

*Enfin à mes chères amies Assia, Salima et Thilelli je vous  
aime énormément.*

# Table de matière

---

Liste des tableaux

Liste de figure

Liste des abréviations

**Introduction .....** **01**

## Chapitre I : Revue Bibliographique

<b>I. Bio surveillance de qualité de l'air.....</b>	<b>03</b>
I.1. Définition de la pollution atmosphérique .....	03
I.2. Polluants de l'air.....	03
I. 2. 1. Polluants naturels.....	04
I. 2. 2. Polluants anthropiques.....	04
I. 2. 3. Polluants primaires.....	04
I. 2. 4. Polluants secondaire.....	04
I. 3. Effets de la pollution sur les végétaux.....	04
I. 4. Méthodes de bio surveillance végétale .....	06
I. 4. 1. Bio-accumulateurs.....	06
I. 4. 2. Bio-intégration .....	06
I. 4. 3. Bio-indication.....	06
I. 4. 5. Biomarqueurs .....	07
I. 5. Stratégie pour mettre en place la Biosurveillance.....	07
I. 5. 1. Approches passive (in situ).....	07
I. 5. 2. Approches actif (transplantation) .....	07
<b>II. Lichens.....</b>	<b>08</b>
II.1. Nutrition des lichens.....	08
II.2. Morphologie et anatomie des lichens.....	08
II. 2. 1. Thalles crustacés .....	09
II. 2. 2. Thalles foliacés.....	09
II. 2. 3. Thalles fruticuleux.....	09
II. 2. 4. Thalles complexes.....	09
II. 2. 5. Thalles squamuleux.....	09
II. 2. 6. Thalles gélatineux.....	09
II. 2. 7. Thalles lépreux .....	09
II. 3. Écologie des lichens .....	10
II. 3. 1. Facteurs substratiques .....	10
II. 3. 2. Facteurs climatiques .....	10
II. 3. 3. Facteurs biologiques .....	10
II. 4. Anatomie des lichens.....	11
II. 4. 1. Structure de type homéomère .....	11
II. 4. 2. Structure hétéromère .....	11
II. 5. Usages des lichens.....	11
II. 5. 1. Usages alimentaires .....	11
II. 5. 2. Usages médicaux.....	12
II. 5. 3. Usages industriels.....	12

## **Table de matière**

II. 5. 4. Rôle de lichen dans la bio-surveillance .....	12
II. 6. Espèce de de lichen choisie ( <i>Xanthoria parietina</i> ) .....	13
III. Mousses.....	13
III.1. Caractères généraux des bryophytes et conditions de vie .....	13
III.2. Morphologie des mousses.....	14
III.3. Classification des bryophytes.....	14
III.4. Rôle de mousse dans la biosurveillance .....	14
III.5. Espèce de mousse choisie ( <i>Polytrichum formosum</i> ) .....	14

### **Chapitre II : Matériels et méthodes**

I. Descriptions de la zone d'étude.....	16
I.1. Situation géographique .....	16
I.2. Caractéristique du climat à Béjaia.....	16
I. 2. 1. Température .....	16
I. 2. 2. Précipitation .....	17
I. 2. 3. Humidité .....	17
I. 2. 4. Vent .....	17
II. Procédure de l'étude.....	17
II.1. Plan d'échantillonnage .....	20
II.2. Prélevement des échantillons de <i>Xanthoria parietina</i> et <i>Polytrichum formosum</i> .....	20
III. Dosage des PM et des paramètres physiologiques au laboratoire .....	21
III.1. Protocole d'extraction des poussières et des cires .....	22
III.2. Mesure de pH, les protéines et les glucides .....	22
III.3. Protocole d'extraction de la chlorophylle .....	23
III.4. Dosage de la proline.....	25
III. 5. Séparation des pigments naturels par Chromatographie en utilisant les bandes de papier Whatman .....	27
IV. Technique numérique d'analyse des données .....	28

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

Aperçu général sur les données .....	30
I. Dosage de la chlorophylle.....	31
I.1. Chlorophylle (Chla).....	32
II. 1. 1. Chlorophylle (Chla) dans <i>Xanthoria parietina</i> .....	32
II.1. 2. Chlorophylle (Chl.a) dans <i>Polytrichum formosum</i> .....	33
II.2. Chlorophylle (Chl.b).....	33
II. 2. 1 Chlorophylle (Chl.b) dans <i>Xanthoria parietina</i> .....	34
II. 2. 2. Chlorophylle (Chl.b) dans <i>Polytrichum formosum</i> .....	34
II. 3. Chlorophylle (Chl. ab).....	34
II. 3. 1. Chlorophylle (Chl. ab) dans <i>Xanthoria parietina</i> .....	34
II. 3. 2. Chlorophylle (Chl. ab) dans <i>Polytrichum formosum</i> .....	35
III. Dosage de la proline .....	37
III.1. Dosage de la proline <i>Xanthoria parietina</i> .....	37

## **Table de matière**

---

<b>III. 2. Dosage de la proline chez <i>Polytrichum formosum</i> .....</b>	<b>38</b>
<b>IV. Évaluation de la quantité des poussières de cires.....</b>	<b>39</b>
<b>IV.1. Évaluation de la quantité des poussières de cires extraites de <i>Xanthoria parietina</i>...</b>	<b>39</b>
<b>IV.2. Évaluation de la quantité des poussières de cires extraites de <i>Polytrichum formosum</i>...</b>	<b>40</b>
<b>V. Paramètre pH, glucose, protéine et des pigments .....</b>	<b>41</b>
<b>VI. Corrélations entre les paramètres .....</b>	<b>43</b>
<b>VI.1. Corrélations entre les paramètres mesurés sur <i>Xanthoria parietina</i> .....</b>	<b>43</b>
<b>VI.2. Corrélations entre les paramètres mesurés sur <i>Polytrichum formosum</i>.....</b>	<b>44</b>
<b>VII. Discussion .....</b>	<b>44</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>ANNEXE</b>	

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau I.</b> Les différents polluants et leur effet sur l'environnement et sur la santé humaine ...	<b>05</b>
<b>Tableau II.</b> Les avantages et les inconvénients des deux approches .....	<b>08</b>
<b>Tableau III.</b> Températures maximales et minimales moyennes dans la ville de Bejaia de 1991-2021 .....	<b>17</b>
<b>Tableau IV.</b> Précipitations mensuelles (P) de la région de Bejaïa 1991-2021 .....	<b>17</b>
<b>Tableau V.</b> Le kilométrage entre les stations par rapport à la ville de Béjaïa .....	<b>18</b>
<b>Tableau VI .</b> Statistiques descriptives des données de l'espèce de <i>Xanthoria parientina</i> .....	<b>31</b>
<b>Tableau VII.</b> Résultat de la chromatographie sur une couche mince de <i>Xanthoria parietina</i> et de <i>Polytrichum formosum</i> .....	<b>42</b>
<b>Tableau VIII.</b> Comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature .....	<b>46</b>

# Liste des figures

---

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> Quelques types de thalles.....	<b>10</b>
<b>Figure 02.</b> Coupe transversale d'un lichen observé au microscope optique (x 400) .....	<b>11</b>
<b>Figure 03.</b> Vue rapprochée (A) et Taxonomie (B) de l'espèce <i>Xanthoria parietina</i> .....	<b>13</b>
<b>Figure 04.</b> Cladogramme des Bryophytes .....	<b>14</b>
<b>Figure 05.</b> Morphologie (A) et taxonomie (B) de mousse <i>Polytrichum formosum</i> .....	<b>15</b>
<b>Figure 06.</b> Illustration des cinq stations étudier .....	<b>18</b>
<b>Figure 07.</b> Organigramme de protocole de l'étude de valorisation de <i>Xanthoria parietina</i> et <i>Polytrichum formosum</i> dans la région de Béjaïa .....	<b>19</b>
<b>Figure 08.</b> Photo illustrant l'échantillonnage de mousse et de lichens .....	<b>20</b>
<b>Figure 09.</b> Conservation des échantillons dans des sacs en papiers (Lamia et Macilia, 2024) ...	<b>21</b>
<b>Figure 10.</b> Filtration des échantillons avec papier filtre .....	<b>22</b>
<b>Figure 11.</b> Mesure de pH, des protéines et de glucides .....	<b>23</b>
<b>Figure 12.</b> Pesage de la matière végétale à l'aide d'une balance .....	<b>23</b>
<b>Figure 13.</b> Broyage des échantillons dans un mortier et la filtration avec papier filtre .....	<b>25</b>
<b>Figure 14.</b> Ébullition des tubes contenant de la matière fraîche et de méthanol à 80% dans un bain-marie à 85° .....	<b>26</b>
<b>Figure 15.</b> L'apparition des différentes phases colorées .....	<b>26</b>
<b>Figure 16.</b> Papiers Whatman dans la cuve à chromatographie (A) et la lecture avec la Chambre UV (B) .....	<b>28</b>
<b>Figure 17.</b> Variation des teneurs en chlorophylle a, b, ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations .....	<b>32</b>
<b>Figure 18.</b> Boxplot des variations spatiale de la quantité de la chlorophylle a,b,ab chez <i>Xanthoria parietina</i> (en jaune) et <i>Polytrichum formosum</i> (en vert) à Béjaïa .....	<b>36</b>
<b>Figure 19.</b> Variations de teneur de la proline ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des statios .....	<b>37</b>
<b>Figure 20.</b> Boxplot des variations spatiales de la quantité de la proline chez <i>Xanthoria parietina</i> (A) et <i>Polytrichum formosum</i> (B) à Béjaïa.....	<b>38</b>
<b>Figure 21.</b> Variations de teneur de la proline ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations .....	<b>39</b>
<b>Figure 22.</b> Boxplot des variations spatiales de la quantité de PM chez <i>Xanthoria parietina</i> (A) et <i>Polytrichum formosum</i> (B) à Béjaïa.....	<b>40</b>
<b>Figure 23.</b> Cercle de corrélation de la chlorophylle (a, b et ab), de la proline, du glucose et de PM mesurés sur les thalles de <i>Xanthoria parietina</i> dans la région de Béjaïa (Mai 2024) .....	<b>43</b>
<b>Figure 24.</b> Cercle de corrélation de la chlorophylle (a, b et ab), de la proline, du glucose et de PM mesurés sur les thalles de <i>Polytrichum formosum</i> dans la région de Béjaïa (Mai 2024) ....	<b>44</b>

## **Liste des abréviations**

**ACP :** Analyse en composantes principales

**ANOVA :** Analyse of variance (Analyse de la variance)

**CCM :** Chromatographie sur une couche mince

**Chl a :** Chlorophylle a

**Chl b :** Chlorophylle b

**Chl ab :** Chlorophylle a +b

**CH3 :** Méthyle

**CO :** Oxyde de carbone

**COV :** Composant organique volatile

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

**HNO :** Acide nitrique (nitrate d'hydrogène, acide azotique)

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :** Acide sulfurique (sulfate d'hydrogène)

**M :** Moyenne

**Max :** Valeur maximale

**Me :** Médiane

**Min :** Valeur minimale

**MF :** Matière Fraiche

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

**O<sub>3</sub> :** Ozone (trioxygène)

**Pb :** Plomb

**pH :** Potentiel d'Hydrogène

**PM :** Particules en suspension

**PMF :** particule en suspension sur les feuilles

**PM<sub>10</sub> :** Particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres

**PM<sub>2,5</sub>:** Particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres

**SO<sub>x</sub>**: Oxyde de soufre

# *Introduction*

# ***Introduction***

---

## **Introduction**

La pollution atmosphérique constitue depuis longtemps une menace croissante pour la santé humaine et les écosystèmes. Au fil des décennies, elle est devenue un enjeu environnemental mondial majeur, en particulier en milieu urbain (**Amrani et al., 2019**). L’Algérie n’échappe pas à cette réalité : la plupart de ses villes subissent les effets nocifs de cette **pollution** (**Rahal et al., 2021**).

L’air, composé à 78 % d’azote, 21 % d’oxygène, et 1 % d’autres gaz dont 0,33 % de dioxyde de carbone (**Ung, 2003 ; Fox, 1987**), peut être altéré par l’introduction de substances polluantes d’origine anthropique. Ces substances sont susceptibles d’affecter la santé humaine, les ressources biologiques, le climat, les matériaux, et d’entraîner des nuisances olfactives (**Khelil et al., 2024**). Les secteurs industriels et du transport sont les principaux émetteurs de polluants, notamment les particules fines issues de la combustion de combustibles fossiles (**Vargas & Teran, 2012**).

Les plantes, notamment les feuilles et l’écorce, absorbent ces polluants. Les effets sont visibles à plusieurs niveaux : altérations morphologiques foliaires, perturbations physiologiques (sucres totaux, proline, chlorophylle) (**Garrec et al., 2002 ; Alkio et al., 2005 ; Ogagaoghene et al., 2017**). Des études rapportent une diminution du nombre de stomates, une augmentation de leur taille (**Garrec et al., 2002 ; Gostin et al., 2009 ; Talukdar et al., 2018**), et une réduction de la chlorophylle dans les plantes des milieux urbains et industriels (**Wakefield et al., 2012 ; Swain et al., 2016 ; Rydzynski et al., 2019**). De plus, des concentrations élevées de polluants diminuent la teneur en sucres totaux (**Tzvetkova et al., 1996**).

Pour une meilleure gestion de la pollution, il est essentiel d’en identifier les sources, de les quantifier et d’évaluer leurs impacts (**Mokhtar & Badji, 2013**). Or, la surveillance classique repose sur des technologies complexes et coûteuses. Ainsi, la biosurveillance, utilisant des organismes vivants comme indicateurs, s’impose comme une alternative efficace (**Meyer et al., 2020**). Parmi ces bioindicateurs figurent les lichens (**Abensour et al., 2020**) et les mousses (**Belguidoum, 2024**).

## ***Introduction***

Dans cette étude, nous utilisons le lichen *Xanthoria parietina* et la mousse *Polytrichum formosum*, deux espèces connues pour leur sensibilité aux polluants (**Khelil et al., 2014 ; Ghennam & Abdoun, 2017 ; Meyer et al., 2020**). Notre travail vise à répondre aux questions suivantes :

Peut-on évaluer la pollution atmosphérique grâce à ces espèces et comment ?

Quel est leur état physiologique dans la région de Béjaïa ?

Comment réagissent-elles dans des environnements pollués ?

Sont-elles de bons bioindicateurs de la qualité de l'air ?

Pour y répondre, notre mémoire s'organise en trois chapitres : une synthèse bibliographique sur la biosurveillance, une présentation des protocoles expérimentaux utilisés pour l'analyse des paramètres physiologiques et des particules en suspension, puis une analyse des résultats obtenus, accompagnée de leur discussion.

# *Partie Théorique*

## **Chapitre I :**

### **Revue Bibliographique**

## **I. Biosurveillance de qualité de l'air**

### **I.1. Définition de la pollution atmosphérique**

La pollution atmosphérique est un phénomène qui met en jeu des effets naturels ou anthropiques (l'atmosphère, l'homme, l'animale) (**Amrani et al., 2019**).

Il est éventuel de prendre en compte que la pollution atmosphérique comme le résultat de plusieurs phénomènes, dont certains peuvent être irrationnel. Elle implique des interactions entre l'atmosphère et d'autres compartiments environnementaux qui déclenchent des polluants compartments (émissions), soit les consommer (dépôt et transformation). Le but des inventaires est d'évaluer la quantité de substances rejetées dans l'atmosphère, telles que le dioxyde de soufre, l'azote, l'ammoniac, les composés organiques persistants et les métaux lourds (**Mudhoo et al., 2020**).

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la pollution de l'air est responsable d'environ 7 millions de décès chaque année dans le monde, y compris en milieu urbain. Cette l'organisation prétend qu'entre 2008 et 2013, les niveaux mondiaux de pollution de l'air dans les zones urbaines ont augmenté de 8 %. Plus 80 % des personnes vivant en zone urbaine sont exposées à des niveaux de qualité de l'air supérieurs au seuil de l'OMS, ce qui a un impact négatif sur la vie, la productivité et l'économie. A l'instar des autres parties du monde, l'Afrique est de plus en plus touchée par la pollution de l'air dans ses grandes villes. Environ 600 000 décès chaque année à travers ce continent sont associés à ce tueur invisible .Ce nombre représente 23% des décès dans le monde (12,6 millions) liés à des facteurs environnemental (**Zoma, 2022**).

### **I.2. Polluants de l'air**

Différentes sources de pollution de l'air ont un impact direct ou indirect sur l'équilibre de sa composition naturelle, certaines étant naturelles tandis que d'autres sont anthropiques (**Mahapatra et al., 2019**). Les principales sources de pollution dans l'atmosphère sont regroupées en deux grandes catégories : les polluants primaires et les polluants secondaires. Les polluants essentiels proviennent directement des sources de pollution, qu'elles soient naturelles ou humaines.

## **I. 2. 1. Polluants naturels**

On peut considérer les pollens, les poussières de déserts et les gaz provenant des activités volcaniques comme des polluants de l'air en raison de leur intégration dans la composition de l'air, ce qui entraîne d'autres formes de pollution de l'environnement. Les polluants les plus fréquemment rencontrés sont les particules fines ( $PM_{10}$ ) et ( $PM_{2.5}$ ) (**Guarnieri et Balmes, 2014**).

## **I. 2. 2. Polluants anthropiques**

Du mot grec « *anthropos* » qui signifie l'Homme, l'expression pollution anthropique est utilisée pour mettre en évidence la relation entre l'Homme et la source de pollution. Plusieurs sources des polluants de l'air dites « anthropiques » par rapport à la participation directe ou indirecte de l'homme (transports, chauffage résidentiel, industrie, agriculture...) (**Mudhoo et al., 2020**).

## **I. 2. 3. Polluants primaires**

Les polluants primaires sont directement dérivés des sources de pollution, qu'elles soient des activités humaines ou phénomènes naturelle (**Basly, 2000**), il s'agit par exemple : des oxydes de carbone, des  $SO_x$ , des  $NO_x$ , des particules ( $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ ) (**Sierra-Vargas et Teran, 2012**): d'après (**Vaslin-Reimann, 2019**) la fraction  $PM_{10}$  est constituée de particules dont la taille est inférieure à 10  $\mu m$ , la  $PM_{2.5}$  se compose de particules de taille inférieure à 2,5  $\mu m$  (ainsi la fraction  $PM_{2.5}$  est une partie de la fraction  $PM_{10}$ ).

## **I. 2. 4. Polluant secondaire**

En fonction des conditions atmosphériques, d'autres substances peuvent se former à partir des polluants déjà présents dans l'air. On les appelle alors « les polluants secondaires ». C'est le cas, par exemple, de l'ozone( $O_3$ ), qui contribue à l'effet de serre. Il est le résultat de la transformation de polluants (NO, monoxyde de carbone (CO), composés organiques volatils...) sous l'effet du rayonnement solaire (**Sierra-Vargas et Teran, 2012**), principalement durant l'été, lors de journées fortement ensoleillées et chaudes (**Guarnieri et Balmes, 2014**)

## **I. 3. Effets de la pollution sur les végétaux**

La pollution de l'air provoque de nombreux dommages aux végétaux (**Benaissa et al., 2023**). Ils sont capables de se protéger efficacement contre les attaques de leurs prédateurs en émettant des

substances désagréables qui les éloigneront. Cependant, face à la pollution principalement causée par les activités humaines, les végétaux sont en première ligne (Tableau1).

Les plantes échangent avec l'atmosphère par de minuscules ouvertures à la surface de l'épiderme : les stomates, notamment sur les feuilles (**Flammarion, 1888**). Les polluants atmosphériques pénètrent à l'intérieur des feuilles par ces ouvertures, et plus la quantité absorbée par la feuille est importante, plus son impact est important. L'ouverture des stomates se fait par différents facteurs tels que : (rayonnement solaire, température, humidité de l'air, etc...), outre la concentration de polluants dans l'air, déterminant également la quantité de polluants absorbants.

Les arbres et les forêts entières sont perturbés par l'augmentation des gaz polluants, ce qui entraîne la formation de branches déformées. Les premières qui sont touchées bien que les sapins et les épicéas qui commencent à jaunir. Les pores des feuilles sont également bouchés par les particules grasses du diesel. La plante a des difficultés à respirer et sa photosynthèse est perturbée (**Boussouara, 2010**).

**Tableau I.** Les différents polluants et leur effet sur l'environnement et sur la santé humaine

(**Boussouara, 2010**).

Polluants	Effets sur l'environnement	Effets sur la santé
<b>CO</b>	Toxique à haute dose pour les plantes.	Fixation du CO sur l'hémoglobine du sang a la place de l'oxygène : anoxie, vertiges...
<b>CO<sub>2</sub></b>	Gas à effet de serre.	Troubles pulmonaires.
<b>NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>)</b>	Acidification des pluies (HNO <sub>3</sub> ).	Altération des fonctions pulmonaires. Inflammation des bronches. Irritation oculaire.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Acidification des pluies (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ). Effet sur la végétation.	Gaz irritant, Inflammation pulmonaires.
<b>O<sub>3</sub></b>	Toxique pour les végétaux Baisse de l'activité photosynthétique, Gas à effet de serre.	Céphalées, toux, irritation oculaires, altération des fonctions pulmonaires.
<b>Poussière</b>	Dégénération du bâti. Perturbation de la respiration. Baisse de l'activité photosynthétique.	Troubles sanguins, troubles neurologique.
<b>Pb</b>	Toxique pour la faune.	Attaque de muqueuses nasales, effets cancérigènes, problèmes cardio-vasculaires.
<b>COV</b>	Gas à effet de serre (CH <sub>3</sub> ).	Irritations oculaires, toux, troubles du système nerveux, risque cancérigène.

La qualité de l'air peut être modifiée par des polluants qui peuvent être d'origine naturelle ou d'origine anthropique, c'est-à-dire liés à l'activité humaine. La pollution de l'air a des effets significatifs sur la santé (**Fox, 1987**) ; (**Nappi et al., 2016**) et l'environnement, qui engendrent des coûts importants pour la société.

## **I. 4. Méthodes de bio surveillance végétale**

La biosurveillance est déterminer comme « l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (**Meyer et al., 2020**) (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 » ; quatre concepts y sont associés : l'utilisation de biomarqueurs, la bio-indication, la bio-intégration et la bioaccumulation (**Cuny, 2012**).

### **1. 4. 1. Bio-accumulateurs**

Sont des organismes utilisés pour leur capacité d'accumuler les polluants atmosphériques au sein de leurs tissus et cela sans atteinte physiologique à court terme. Ce sont donc des espèces moins sensibles aux polluants.

### **I. 4. 2. Bio-intégration**

Se base sur l'observation des variations des communautés, populations, groupes d'espèces. Ces variations concernent par exemple les modifications de compositions spécifiques, d'abondance, de fréquence, des espèces. Certains auteurs préfèrent le terme d'indicateur écologique à celui de biointégrateur car en plus des paramètres climatiques et de la pollution, des mécanismes tels que la compétition interspécifique agit également.

### **I. 4. 3. Bio-indication**

Les bioindicateurs sont des organismes vivants comme les plantes, les planctons, les animaux et les microbes, qui servent à évaluer la santé de l'écosystème naturel de l'environnement. Ils sont employés afin d'évaluer la qualité de l'environnement et les évolutions biogéographiques qui se déroulent dans le milieu. Chacun des éléments organiques d'un système biologique donne une indication sur la santé de son milieu (**Parmar et al., 2016**).

## **I. 4. 5. Biomarqueurs**

L'utilisation de **biomarqueurs** est le « niveau » le plus récemment exploré et utilisé en biosurveillance. Il concerne des atteintes infra individuelles non perceptibles et se base sur des modifications de paramètres physiologiques, biochimiques, moléculaires. Ces marqueurs font actuellement l'objet de nombreux développements bénéficiant des progrès technologiques notamment en biologie moléculaire, dans le but d'obtenir des réponses à la fois précoces et spécifiques (**Cuny, 2012**).

## **I. 5. Stratégie pour mettre en place la Biosurveillance**

Deux approches de la biosurveillance sont possibles : - **la méthode passive (in situ)** (**Benaissa et al., 2023**), qui est l'utilisation des végétaux en place, la seconde appelé - **la méthode active (transplant)** (**Protano et al., 2015**), qui est la mise en place sur un site donné pendant une période donnée de végétaux génétiquement sélectionnés et cultivés dans des conditions standardisées.

### **I. 5. 1. Approches passive (in situ)**

Consiste à collecter des échantillons de mousses ou de lichens qui poussent naturellement dans un environnement donné. Cela permet de mesurer les niveaux de pollution présents sur le long terme. L'avantage de cette méthode qu'elle est rapide (**Allal et Bouchra, 2007**).

### **I. 5. 2. Approches actif (transplantation)**

Implique la transplantation des végétaux provenant de zones non polluées vers des zones polluées pour une période déterminée (**Protano et al., 2015**). Après cette période, les échantillons sont analysés pour évaluer les niveaux de pollution accumulés. Pour réaliser cette méthode il faut laisser du temps pour la transplantation donc Les temps d'exposition des transplants sont plus longs (plusieurs semaines) que la première méthode, en effet elle est utilisable lorsque la méthode *in situ* n'est pas probable (**Protano et al., 2015**).

Le tableau II récapitule les avantages et les inconvénients des deux approches.

**Tableau II.** Les avantages et les inconvénients des deux approches (**Allal et Bouchra, 2007**)

<b>Passive</b>	<b>Active</b>
Les résultats peuvent être obtenus en quelques jours.	Elle nécessite plus de temps.
Les résultats démontrent les pollutions des années précédentes.	Les résultats illustrent la pollution pendant la période d'exposition.
Faible surveillance, peu de risques de destruction.	Risques potentiels de destruction.
Les échantillons peuvent être soumises à un stress ou subir des changements de morphologie- physiologie.	Les transplants sont originaires d'environnements « propres ».

## **II. Lichens**

Ils sont le résultat d'une symbiose entre un champignon (mycobionte) et une algue (photobionte) (**Beck et al., 1998**), forment une alliance biologique étroite. Ils sont répandus à travers le globe et peuvent résister à différentes conditions environnementales difficiles. La flore mondiale de lichens est estimée à 18 500 espèces qui vivent dans presque tous les écosystèmes terrestres, de la toundra arctique aux climats désertiques et des basses terres aux montagnes les plus élevées (**Basile et al., 2015**).

### **II.1. Nutrition des lichens**

Les lichens sont un genre de champignons bio-trophées spécialisés dans la nutrition et écologiquement nécessaires qui se nourrissent de carbone fixe à partir d'une population de cellules photo-biotiques minuscules (algues vertes et/ou cyanobactéries). Ces symbioses qui se trouvent en dehors des cellules sont accueillis et conservés dans le thalle fongique (**R. Honegger.,1996**)

### **II.2. Morphologie et anatomie des lichens**

Les lichens sont des thallophytes, ce qui signifie que leur appareil végétatif est un thalle, sans tiges, feuilles, racines ou appareil conducteur, contrairement aux plantes supérieures. L'essentiel du lichen est le thalle qui abrite les organes reproducteurs. Ce thalle se distingue par une variété élevée de formes de croissance et de teintes (**Adjiri, 2020**).

Il existe en général sept catégories de thalles (**Figure 01**) L'identification de ces principaux types permet d'entrer dans les premiers critères des clés de détermination en observant à l'œil nu ou à la loupe, étant donné qu'il existe de nombreuses formes intermédiaires (**Brakni., 2018**).

## **II. 2. 1. Thalles crustacés**

Les thalles crustacés représentent la majorité (90 %). Ils se fixent au substrat sous forme de croûte, dans lequel ils peuvent s'enfoncer plus ou moins profondément.

## **II. 2. 2. Thalles foliacés**

Les thalles foliacés sont des lames ou des feuilles plus ou moins lobées ou découpées, sans difficulté à se détacher du substrat.

## **II. 2. 3. Thalles fruticuleux**

Les thalles fruticuleux se caractérisent par des lanières ou des tiges plus ou moins ramifiées, dressées ou pendantes, qui adhèrent au substrat par une surface mince.

## **II. 2. 4. Thalles complexes**

Les thalles complexes également connus sous le nom de thalles composites, se composent d'un thalle primaire plus ou moins foliacé et solide au substrat, sur lequel se développe un thalle secondaire dressé, plus ou moins ramifié ou en forme de "podétions".

## **II. 2. 5. Thalles squamuleux**

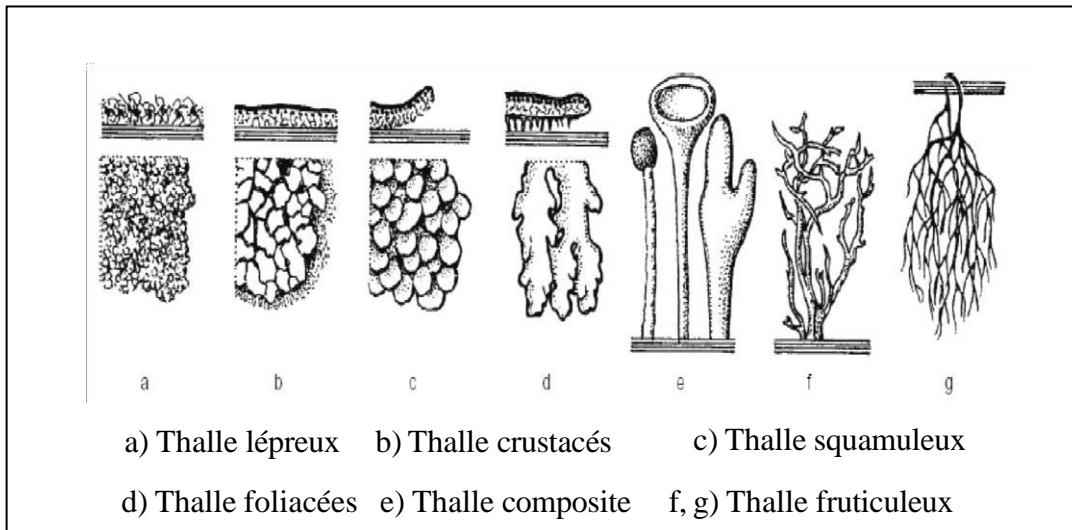
Les thalles squamuleux sont de petites squamules ou écailles qui peuvent être partiellement chevauchées.

## **II. 2. 6. Thalles gélatineux**

Les thalles gélatineux présentent une teinte noire et sont cassants à sec, tandis qu'ils sont de texture gélatineuse à l'état humide. Ils peuvent avoir des feuilles, des squamules, des crustacés ou des fruits (**Brakni.,2018**).

## **II. 2. 7. Thalles lépreux**

Les thalles lépreux ont la forme d'une poudre qui se détache facilement du substrat (**Brakni.,2018**).



**Figure 01.** Quelques types de thalles (**Hamralaine,2020**).

### **II. 3. Écologie des lichens**

Les lichens se trouvent partout sur notre planète. Ils constituent la végétation la plus élevée rencontrée vers les pôles et en altitude, à la limite des neiges et des glaces éternelles. Cependant, ces végétaux, pris dans leur ensemble, forment un groupe extrêmement plastique, présent à peu près partout. Cependant, chaque espèce présente ses propres exigences et sa répartition est influencée par le milieu de trois façons différentes, c'est-à-dire déterminée par trois ensembles de facteurs écologiques : les facteurs substratiques, les facteurs climatiques et les facteurs biologiques (**Boutabia, 2016**).

#### **II. 3. 1. Facteurs substratiques**

Ils constituent par des caractères physiques (consistance, porosité, perméabilité...), caractères chimiques : (réaction ioniques, teneur en calcium, en nitrates).

#### **II. 3. 2. Facteurs climatiques**

Ce sont des facteurs écologiques qui sont : l'eau, gaz carbonique et sels minéraux.

#### **II. 3. 3. Facteurs biologiques**

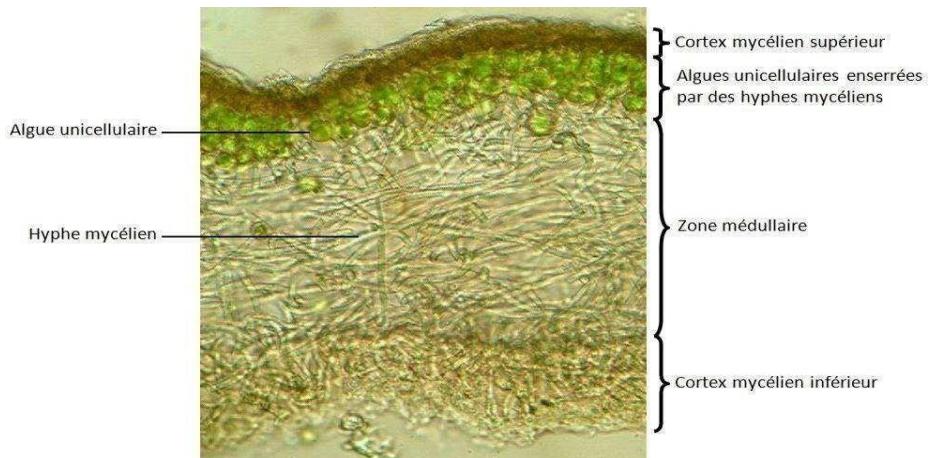
Il consiste par l'action des autres êtres vivants par disputation de leur place et détruisant ou modification des conditions de milieu par favorisation de leur dissémination. (**Van Haluwyn et Lerond,1993**).

## **II. 4. Anatomie des lichens**

Les lichens présentent une grande diversité de morphologie, mais leur structure anatomique est très homogène et garantit leur unité. Deux catégories principales de structures peuvent être distinguées (**Olafsdottir, Ingolfsdottir., 2001**).

### **II. 4. 1. Structure de type homéomère**

On qualifie cette structure d'homéomère car le champignon et la cyanobactérie sont parfaitement homogènes dans toute l'épaisseur du thalle comme chez les collema (**Douibi., 2020**).



**Figure 02.** Coupe transversale d'un lichen observé au microscope optique (x 400) (**VU\_Thi\_Huyen., 2014**).

### **II. 4. 2. Structure hétéromère**

Cette structure se manifeste lorsque l'on observe une disposition par couches sur une coupe transversale de thalle, ce qui signifie qu'elle est stratifiée. Un cortex supérieur, une couche d'algue, une zone médullaire et un cortex inférieur sont les principales subdivisions.

## **II. 5. Usages des lichens**

Depuis l'Antiquité, les lichens ont été employés en tant que plantes médicinales et pour de nombreux autres tels que l'usage alimentaire, médicale, industriel et de bio indicateurs.

### **II. 5. 1. Usages alimentaires**

Un milliard de personnes à travers le monde consomme les lichens, ce qui le donne un rôle essentiel dans la stratégie de subsistance des communautés rurales des pays en développement. Les lichens

sont utilisés pour l'alimentation en raison de leur facilité d'accès, de leur faible coût et de leur valeur nutritive. La majorité des lichens n'ont pas de toxicité, avec quelques exceptions (**Devkota et al. 2017**).

## **II. 5. 2. Usages médicaux**

Les lichens sont sans doute utilisés en médecine en raison de leurs métabolites secondaires, dont de nombreux sont connues pour être à la fois physiologiquement actifs et antibiotiques. Néanmoins, les propriétés des glucides des lichens sont également à l'origine de certaines des utilisations traditionnelles. Les lichens sont souvent utilisés de manière traditionnelle pour faire bouillir le lichen afin de produire un mucilage qui peut être consommé en cas de problèmes pulmonaires ou digestifs ou appliqué localement pour d'autres affections (**Yang et al., 2021**).

## **II. 5. 3. Usages industriels**

Des études ont été réalisées afin de favoriser l'emploi de colorants naturels dans divers secteurs des secteurs alimentaires, cosmétiques et textiles. La révolution industrielle a été marquée par l'importance des colorants à base de lichen. Les lichens jouaient un rôle crucial dans la couleur des violets et des violettes. On a obtenu les teintes jaunâtre, brunâtre et brun rougeâtre par une teinture simple où les lichens étaient bouillis dans l'eau avec de la laine mordante et non mordante. À titre d'exemple, *Xanthoria Parietina* (**Wa, et Gm 2022**).

## **II. 5. 4. Rôle de lichen dans la bio-surveillance**

Les lichens sont utilisés pour la prévention de la pollution atmosphérique et pour suivre l'évolution de la qualité de l'air dans l'espace et dans le temps. Leur développement est lent dépendants et réalise à partir de l'atmosphère pour assurer leur nutrition au travers de la surface de thalle (cortex supérieur) (**Delves et al., 2023**). Les lichens ne possèdent ni cuticule cireuse, ni stomate qui pourraient moduler leur exposition aux polluants atmosphériques, alors ils sont très sensibles aux substances présentes dans l'air ambiant, absorbe les polluants facilement qui perturbent leur métabolisme et causent des effets morphologiques visible. La pollution atmosphérique extrême peut modifier la composition des lichens en fonction de la sensibilité différentielle des espèces, alors il peut être une méthode d'observation de choix dans l'évaluation spatio-temporelle des effets de la qualité de l'air sur le vivant (**Kouadri,2020**).

## II. 6. Espèce de de lichen choisie (*Xanthoria parietina*)

*Xanthoria parietina* est une Thalle de grande taille, jaune orange, formé de petit feuilles aplatis de 1 à 5 mm de large. Recouvert de nombreuse apothécies de couleur orange. Peut-être confondu avec d'autres espèces de genre *Xanthoria*, et *Fulgensia* et avec *Caloplaca*. Largement répandu sur écores, bois et rochers (**Hans martin Jahns, 2011**).

B	Lichen <i>Xanthoria</i> <i>Parietina</i>
<b>Règne :</b>	<i>Fungi.</i>
<b>Division :</b>	<i>Ascomycotina</i>
<b>Sous-embranchement :</b>	<i>Pezizomycotina</i>
<b>Classe :</b>	<i>Ascomycetes.</i>
<b>Ordre :</b>	<i>Téloschistales.</i>
<b>Famille :</b>	<i>Téloschistaceae.</i>
<b>Genre :</b>	<i>Xanthoria</i>
<b>Espèce :</b>	<i>Xanthoria parietina</i>

**Figure 03.** Vue rapprochée (A) et Taxonomie (B) de l'espèce *Xanthoria parietina* (**Khaldi, 2013**)

## III. Mousses

### III.1. Caractères généraux des bryophytes et conditions de vie

Nommé bryophytes (*bryo* qui signifie mousse et *phytos* qui signifie plante), ces petits végétaux chlorophylliens de 1 à 10 cm vivent le plus souvent dans les milieux humides et ombragés ; leur appareil végétatif ne possédant pas de système racinaire (**Daguet, 2021**). Il est difficile d'expliquer l'origine des bryophytes, car elles sont considérées comme un groupe qui permet le passage des thallophytes aux ptéridophytes (**Hans martin Janhs, 2011**) ce sont les premières espèces végétales qui ont tenté de colonisé le sol mais avec précaution en cherchant à s'installé dans des zones très peu ensoleillé et surtout à degrés hygrométrique très élevé pour leur développement.

Les mousses font partie d'une grande famille des plantes des bryophytes sont des espèces pionnières dont les capacités de déshydratation et de reviviscence leur permettent de se développer en des habitats très variés. De ce fait, elles se retrouvent dans des endroits terrestres ou aquatiques,

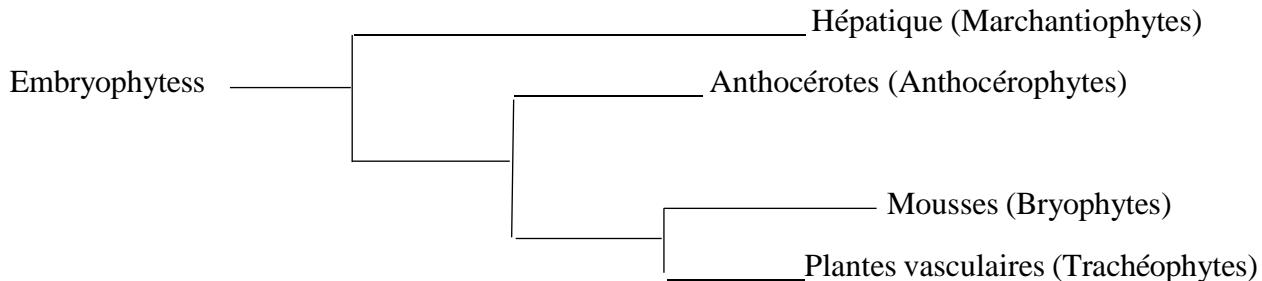
autant ensoleillés qu’ombragés ainsi que sur de nombreux supports comme les rochers, le bois mort, les murs, le sable, les arbres.(**Daguet, 2021**).

### **III.2. Morphologie des mousses**

À la place du système racinaire les mousses possèdent des tiges feuillées (permettent d’absorber l’eau et les sels minéraux) fixées au sol par des filaments cellulaires non chlorophylliens qui ne sont pas des véritables racines appelées des rhizoïdes (**Hans martin Jahns, 2011**).

### **III. 3. Classification des bryophytes**

Les bryophytes se composent de trois classes bien regroupées : Classe des **Muscinées**, comprenant aussi classe des **Hépatiques**, classe des **Anthocérotées** (**Ludwiczuk & Asakawa, 2019**).



**Figure 04.** Cladogramme des Bryophytes (**Khaldi.,F 2013**).

### **III. 4. Rôle de mousse dans la biosurveillance**

Les mousses jouent un rôle crucial dans la biosurveillance en surveillant la qualité de l’air en accumulant des polluants (**Mahapatra et al., 2019**). Les mousses, qui ne possèdent ni racines ni systèmes vasculaires, ont la capacité de stocker les polluants organiques et métalliques présents dans l’air de manière bioaccumulée. Ils servent de bioindicateurs pour mesurer la pollution de l’air, en particulier en milieu urbain, à côté des lichens (**Mahapatra et al., 2019**).

### **III. 5. Espèce de mousse choisie (*Polytrichum formosum*)**

*Polytrichum formosum* est une plante rarement ramifiée, de couleur vert sombre à glauque, en coussinets lâches souvent étendus de 5 à 15 cm en haut. Feuilles linéaires lancéolées, déjetées à l’horizontales, à l’état humide et irrégulièrement repliées à l’état sec. Largement répandue en forêt sèche et ombragées, sur sol légèrement acide (**Hans martin Jahns.2011**).



B	Mousse <i>Polytrichum Formosum</i>
Royaume	<i>Plantae</i>
Division	<i>Bryophytes</i>
Classe	<i>Bryopsida</i>
Sous-classe	<i>Bryidés</i>
Commande	<i>Polytrichales</i>
Famille	<i>Polytrichacées</i>
Genre	<i>Polytrichum</i>
Espèces	<i>Polytrichum Formosum</i>

**Figure 05.** Morphologie (A) et taxonomie (B) de mousse *Polytrichum formosum* (**Schoch et al., 2020**).

La qualité de l'air que nous respirons est le résultat d'interactions complexes entre, les émissions dans l'atmosphère de gaz et particules d'origines naturelles ou anthropiques, les bioindicateurs naturels sont utilisés pour évaluer la santé de l'environnement et constituent également un outil important pour détecter les changements dans l'environnement, qu'ils soient positifs ou négatifs, et leurs effets ultérieurs sur la société humaine. Depuis des décennies les lichens et les bryophytes sont de puissants bioindicateurs de la biosurveillance de la qualité de l'air (**Parmar et al., 2016**).

Les mousses furent utilisées pour la première fois comme bioindicateurs en biosurveillance de la qualité de l'air au début des années 1950 pour évaluer les teneurs atmosphériques. En effet, l'absence de racine et de système vasculaire rendent ces végétaux dépendants de l'atmosphère pour leurs besoins nutritifs (**Meyer et al., 2020**).

Le lichen a l'avantage d'être une sentinelle de la qualité de l'air. Selon les études, ils peuvent être utilisés comme accumulateur de polluants, ou comme indicateur d'un niveau de pollution, en fonction de leur présence ou à cause de leur disparition (**Meyer et al., 2020**).

# *Partie pratique*

## **Chapitre II :**

### **Matériel et Méthode**

### **I. Descriptions de la zone d'étude**

#### **I.1. Situation géographique**

La Wilaya de Bejaia est une wilaya Algérienne côtière s'étend sur une superficie de « 3268.5 km<sup>2</sup> » et sur une baie de 7km. Située dans la partie Est du pays et limitée par la mer méditerranée au Nord, la wilaya de Jijel à L'Est, les wilayas de Sétif et Bordj-Bou-Arreridj au Sud, les wilayas de Tizi Ouzou et Bouira à l'Ouest.

Béjaïa est située en bordure de la mer Méditerranée à 220 km à l'est d'Alger en traversant la route national (RN24) appeler route de Béjaïa elle est positionnée à une altitude moyenne de 60,1 m et une latitude (36°45'43") N et une longitude (5°03'17") E (*Google Earth, 2024*).

#### **I.2. Caractéristique du climat à Béjaïa**

Bejaia est caractérisée par un climat méditerranéen a été chaud, qui est un type de climat tempéré.

Il s'agit, plus précisément d'un climat méditerranéen à deux saisons :

- Une saison relativement douce et humide allant du mois d'octobre à avril ;
- Une saison chaude coïncidant avec la saison sèche allant de mai à octobre.

#### **I. 2. 1. Température**

La température moyenne du mois le plus froid (janvier et février) est de 10.1C°, celle du mois le plus chaud (août) est de 25C°. Dans le tableau ci-dessous (Tableau III), les températures moyennes maximales, minimales de 1991-2021.

**Tableau III.** Températures maximales et minimales moyennes dans la ville de Bejaia de 1991-2021

T(C°)	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	JUIL.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>T° Max</b>	13.8	13.9	16.4	18.5	21.3	25.2	28.3	28.9	25.8	23.2	17.9	14.8
<b>T° Moy</b>	10.1	10.1	12.4	14.6	17.7	21.5	24.6	25	22.2	19.4	14.3	11.3
<b>T° Min</b>	7.2	6.8	8.7	10.9	13.9	17.6	20.7	21.4	29.1	16.3	11.5	8.5

### I. 2. 2. Précipitation

La région de Béjaïa, en Algérie, connaît des précipitations variées au fil des saisons, sont généralement plus élevées en hiver et plus basses en été, c'est ce que le tableau IV rapporte :

**Tableau IV.** Précipitations mensuelles (P) de la région de Bejaïa 1991-2021

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	JUIL.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	93	78	79	75	58	18	5	16	64	76	86	91

### I. 2. 3. Humidité

Les points de rosée inférieurs sont perçus comme un environnement plus sec et les points de rosée supérieurs comme une atmosphère plus humide. La prévalence d'un jour lourd à Béjaïa est principalement stable en janvier, avec une probabilité de 0%. À titre exemple, le 12 août, le jour le plus lourd de l'année, le climat est lourd pendant 84% du temps, tandis que le 17 janvier, le jour le moins lourd de l'année, le climat est lourd pendant 0% du temps.

### I. 2. 4. Vent

La vitesse horaire moyenne du vent à Béjaïa est principalement constante en janvier, se maintenant à 14,6 kilomètres par heure +/-0,3 kilomètre par heure.

## II. Procédure de l'étude

Lors de notre recherche, on a opté pour une approche passive, parce qu'elle nous a économisé le temps, C'est une méthode rapide.

Cette étude est dépliée en deux étapes : la première sur le terrain qui se passe le 17 Avril 2024 dans la zone urbaine de Béjaïa, où on a effectué un échantillonnage homogène au niveau de cinq stations (Béjaïa, El-kseur, Kherrata, Féniaia, Adekar) et la deuxième pour la partie expérimentale elle est déroulée au niveau de laboratoire technologie alimentaire.

Voici une carte géographique qui démontre les stations étudiées de la wilaya de Béjaïa (**Figure 06**) :



**Figure 06.** Illustration des cinq stations étudiées (*Google Earth, 2024*).

Le tableau suivant planifie la distance entre chacune des stations via la région de Béjaïa toute en remarquons que la région d'El-kseur est la plus proche contrairement Kherrata (Tableau V)

**Tableau V.** Le kilométrage entre les stations par rapport à la ville de Béjaïa.

Les stations	El-Kseur	Féniaia	Adekar	Kherrata
Kilométrage (Km)	28,9	35,5	46,9	58,8

Le schéma ci-dessus montre la réalisation des protocoles suivis afin d'exécuter les deux étapes l'une est sur le terrain afin d'accomplir l'échantillonnage dans des conditions bien respecter et la seconde au sein de laboratoire pour l'intention d'effectuer les différents facteurs tel que les dosages de la chlorophylle et celui de la proline et mesurer le taux de pH et des glucides et même les protéines ensuite on passe aux séparations des pigments :

## Travail sur le terrain

**Valorisation de *Xanthoria parietina* et de *Polytrichum formosum* dans la région de Béjaia**

### Espèces utilisées :

- ✓ Les lichens:  
*Xanthoria parietina*
- ✓ Les mousses:  
*Polytrichum formosum*

**Trois échantillons de chaque station**

## Travail au laboratoire

### Paramètres de pollution PM

**Extraction des PM**  
Peser 100 mg d'Echantillon puis ajouter 10 ml de chloroforme, filtrer le mélange avec papier. Après le séchage on pèse pour déterminer la quantité des PM

### Paramètres Physico-chimiques

**Mesure de pH, protéines et glucides**  
Mesure de PH avec PH-mètre, les protéines et les glucides en utilisant les bandelettes produits chimiques.

### Paramètres physiologiques

**Dosage de la proline**  
Peser 100 mg de l'Echantillon, ajouter 3 ml de méthanol, chauffer le mélange au bain marie.

**Dosage de la chlorophylle**  
Préparer une solution de 0,45g de l'Echantillon avec 10 ml d'acétone. Broyer le mélange puis filtrez avec papier et le centrifuger. A la fin la lecture sur le spectrophotomètre

### CCM

Séparation des pigments naturels par Chromatographie en utilisant les bandes de papier Whatman

**Figure 07.** Organigramme de protocole de l'étude de valorisation de *Xanthoria parietina* et *Polytrichum formosum* dans la région de Béjaia

### **II. 1. Plan d'échantillonnage**

L'échantillonnage a été exécuté pendant une période de deux mois (Avril et Mai 2024). On a programmé deux stations au centre de la zone industrielle qui sont El-kseur et Béjaia, et trois stations rurales qui sont : Fénaia, Kherrata et Adekar, sont classées par cet ordre : **Station 01 (Fénaia), station 02 (Kherrata), station 03 (El-kseur), station 04(Béjaia), Station 05 (Adekar)**.

### **II. 2. Prélèvements des échantillonnes de *Xanthoria parietina* et *Polytrichum formosum***

Les échantillons ont été prélevés de différentes arbres et rochers et même du sol, on a réalisé trois prélèvements dans chaque station, l'échantillonnage a été effectué pendant la période d'Avril et Mai 2024 à l'aide d'un couteau en céramique (**Figure 08**)



**Figure 08.** Photo illustrant l'échantillonnage de mousse et de lichens.

Les échantillons ont été mis dans des sacs en papier afin de les conservées pour évités l'oxydation de la chlorophylle (Figure 09) et les transportés au laboratoire dans une glacière ver un réfrigérateur à une température de 4C° dans le but de doser les paramètres physiologiques qui sont la chlorophylle et la proline, et même pour évaluer la quantité des matières en suspension contenue à la surface de la feuille (PMF).



**Figure 09.** Conservation des échantillons dans des sacs en papiers.

### **III. Dosage des PM et des paramètres physiologiques au laboratoire**

L'extraction des matières particulières (PM) a été effectué dans laboratoire des Science alimentaire suiv un protocole précis pour assurer une récupération et une analyse exactes des particules présentes dans notre échantillons.

Pour évaluer la quantité de polluants atmosphérique, en particulier les PM attiré par la végétation du milieu industriel étudié, et pour examiner si cette accumulation à un effet sur l'activité physiologique végétale, on avait recours à différentes techniques d'extraction et de dosage.

### **III.1. Protocole d'extraction des poussières et des cires**

100 mg de matière végétal ont été pesé pour chaque échantillon et ensuite placer sur un papier filtre pour l'extraction, en utilisant un bécher.

Verser 10 ml de la Chloroforme pour chaque échantillon.

Après 35 seconds d'évaporation des échantillons à l'aire libre sur le papier filtre, ils sont pesés encore une fois sur la balance analytique pour noter le poids des particules de suspension (figure 10).



**Figure 10.** Filtration des échantillons avec papier filtre.

### **III. 2. Mesure de pH, les protéines et les glucides**

En utilisant la même solution qu'on a obtenue dans le protocole précédent (PM), on va mesurer le pH et la concentration des protéines et des glucides à l'aide d'un pH-mètre (BT-675) et des bandelettes réactives (**figure 11**).

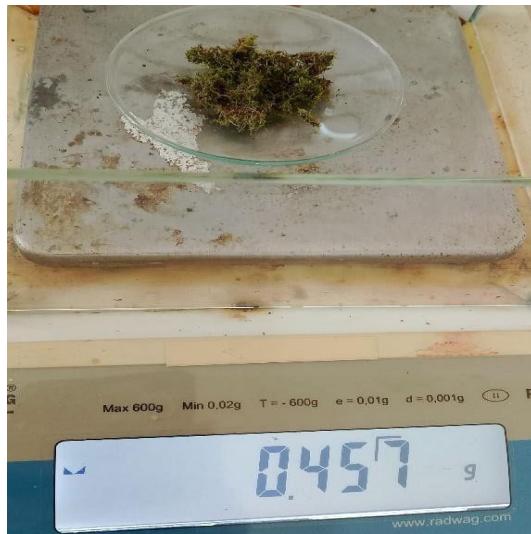


**Figure 11.** Mesure de pH, des protéines et de glucides.

### **III. 3. Protocole d'extraction de la chlorophylle**

L'extraction de la chlorophylle a été accompli laboratoire des sciences alimentaire suit une série d'étapes soigneusement orchestrées pour isoler et analyser ce pigment essentiel des plantes. Le processus commence par la collecte de des échantillons à partir les différentes stations étudiées et emmenèrent les tous au laboratoire dans des sacs en papier pour les conserver afin d'exécuter le protocole de l'extraction des chlorophylles.

0,45g de matière végétale a été pesé pour chaque échantillon :



**Figure 12.** Pesage de la matière végétale à l'aide d'une balance.

Puis on ajoute 10 ml d'acétone à 80% et une pincée de carbonate de calcium, le mélange est broyé dans un mortier.

Filtration de la solution après broyage totale en utilisant un papier filtre et mise dans des tubes recouverts de papier aluminium, dans le but d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

Verser une partie de l'extrait de chlorophylle dans une cuvette pour spectrophotométrie (UV-9200).

Mesurer l'absorbance de l'extrait à des longueurs d'onde spécifiques (645 nm et 663nm).

Utiliser les valeurs d'absorbance pour calculer les concentrations de chlorophylle a, b et totale en utilisant la formule de (**Arnon, 1945**).

$$\text{Chl.a (ug/ml)} = 12,7 \text{ (DO 663)} - 2,69 \text{ (DO 645)}$$

$$\text{Chl.b (ug/ml)} = 22,9 \text{ (DO 645)} - 4,68 \text{ (DO 663)}$$

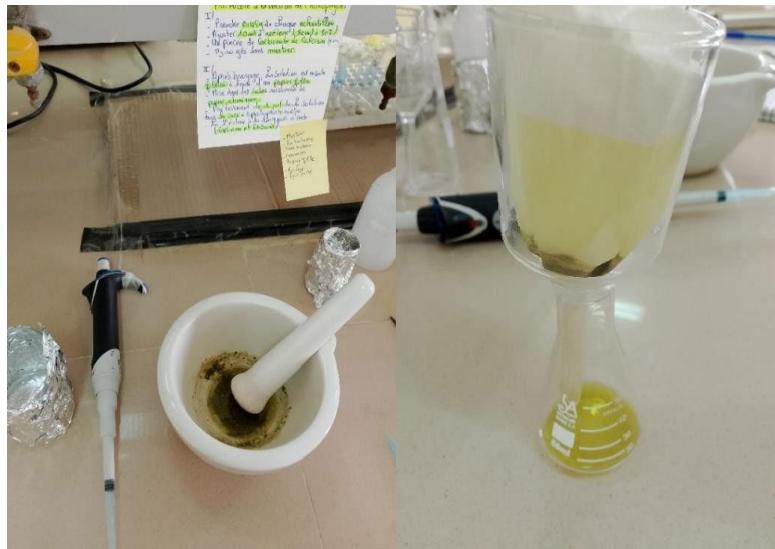
$$\text{Chl.a + Chl.b} = 8,02 \text{ (DO 663)} + 20,2 \text{ (DO 645)} \text{ (Brawn et White Head, 1986).}$$

**DO : Densités Optiques (les valeurs données par le spectrophotomètre aux longueurs d'ondes (645 nm et 663 nm)).**

Chl.a : chlorophylle a.

Chl.b : chlorophylle b.

Chl.a+b : chlorophylle a et b.



**Figure 13.** Broyage des échantillons dans un mortier et la filtration avec papier filtre.

### **III. 4. Dosage de la proline**

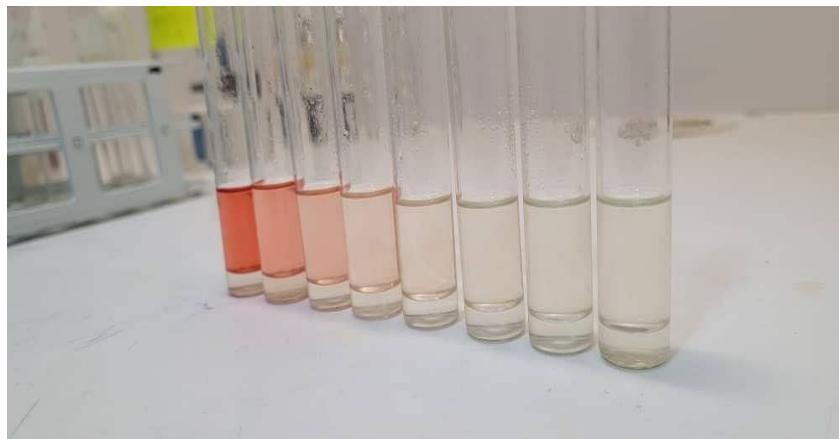
100 mg de matière végétal été pesé pour chaque échantillon, on les coupe en petits morceaux. On les met dans des tubes à essai qui sont couvrir par papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool et on ajoute 3 ml de méthanol à 80% à l'extrait. Le mélange est chauffé au bain-marie à 85° Pendant 1 heure (**Figure 14**).



**Figure 14.** Ébullition des tubes contenant de la matière fraîche et de méthanol à 80% dans un bain-marie à 85°.

Les tubes sont retirés et soumis à un refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait, auquel on ajoute 1 ml le mélange suivant (12 ml d'eau distillée, 30 ml d'acide acétique, 8 ml d'acide ortho phosphorique et 2,5 mg de ninhydrine ( $C_9H_6O_4$ )).

Les solutions sont disposées à ébullition à nouveau durant 30 minutes. La figure montre les différentes couleurs acquérir après cette ébullition :



**Figure 15.** L'apparition des différentes phases colorées.

On ajoute 5 ml de toluène après refroidissement pour chaque tube, ensuite l'agitation avec un vortex.

L'apparition de deux phases :

- ✓ Une phase inférieure transparente sans proline.

- ✓ Une phase supérieure rouge contient la proline.
- ✓ Mesure en spectrophotométrie en 528.

La phase qui contient de la proline est récupérée et déshydratée par l'addition d'anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

### **III. 5. Séparation des pigments naturels par Chromatographie en utilisant les bandes de papier Whatman**

La séparation des pigments naturels par chromatographie a été achevée dans laboratoire de science alimentaire pour effectuer le protocole et dans laboratoire des génies procédés pour faire la lecture dans la chambre UV en utilisant papier Whatman suivent un protocole précis pour isoler et identifier les différents pigments présents dans les différents échantillons étudié. Le processus commence par la collecte des échantillons et emmenèrent les au laboratoire et accomplir le protocole de l'extraction de ces pigments.

On prépare l'extrait de la végétation en broyant l'échantillon (mousse ou lichens) avec 1 ml d'acétone et une pincée de sable.

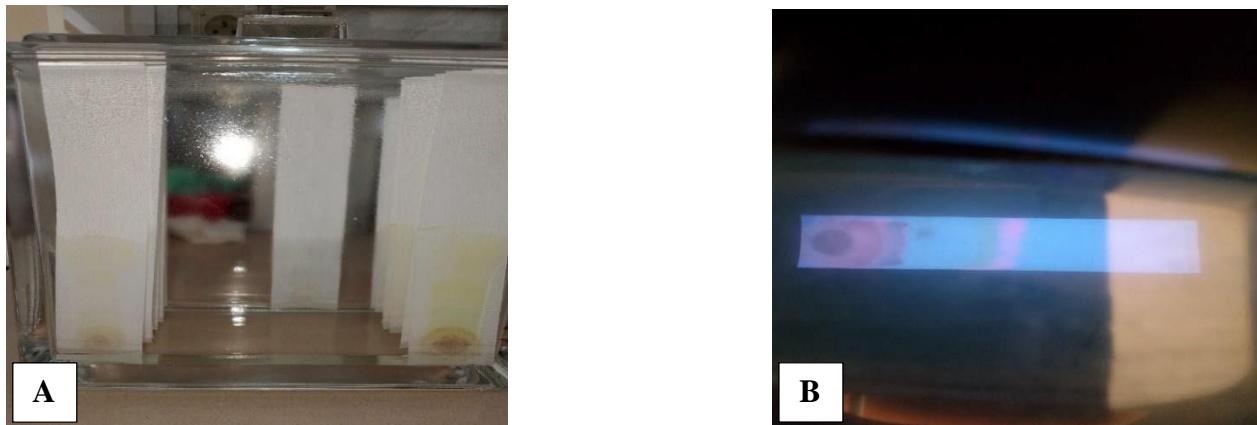
Pour préparer la phase stationnaire sur la bande de papier Whatman, on trace par un crayon et une règle un trait à 1,5 cm du band inférieur (ligne de dépôt).

Une goutte du concentré d'extrait est le placé sur la ligne de dépôt à l'aide d'une micropipette et éventuellement sécher les dépôts avec un sèche-cheveux.

Prélever 9 ml d'éther de pétrole avec une éprouvette graduée et bien mélanger avec 1 ml de l'acétone c'est l'éluant ou la phase mobile pour chaque échantillon.

Verser les 10 ml de l'éluant de chaque échantillon dans la cuve à élution, et vérifier c'est le niveau de l'éluant au fond de la cuve ne dépasse pas 1 cm.

Insérer verticalement les papiers Whatman dans la cuve à chromatographie sur lequel sont réalisés les dépôts des extraits, vérifier que la ligne de dépôt est au-dessus de l'éluant et couvrir avec un couvercle (**Figure 16 (A)**).



**Figure 16.** Papiers Whatman dans la cuve à chromatographie (A) et la lecture avec la chambre UV (B).

Retirer les bandes de papier Whatman quand l’éluant est à environ 1 cm du bord supérieur de la bande, marquer d’un trait de crayon le front de l’éluant et laisser sécher.

Faire la lecture en utilisant la chambre UV au niveau de laboratoire de génie procédé à une longueur d’onde 365 nm pour identifier les différentes couleurs sur la bande de Whatman avec un crayon afin de déterminer les pigments existés (**Figure 16 (B)**).

#### IV. Analyses statistiques des données

Les données recueillies ont été d’abord traitées avec le logiciel Microsoft Excel, version 16.16.27. Des statistiques descriptives ont été ainsi appliquées pour caractériser les différents paramètres mesurés sur les différents échantillons des cinq stations et des deux espèces. Les paramètres statistiques pris en considération sont les paramètres de position (moyenne, médiane, valeurs maximales, valeurs minimales, les trois quartiles) et les paramètres de dispersion (écart type, variance, erreur type). Les histogrammes tracés à partir des moyennes et des écart-types calculés ont été tracés avec ce même logiciel Excel 2016.

Les données sont ensuite traitées par les statistiques inférentielles en utilisant le logiciel **STATISTICA** 2005 (logiciel d’analyse de données) « version 7. 1 ». L’Analyse de la variance (ANOVA) qui est une méthode statistique inférentielle utilisée pour tester l’égalité de plusieurs moyennes (**Marc et al., 2012**) a été appliquée sur l’ensemble des données. Avant de procéder à l’ANOVA, les données sont à chaque fois, traitées par le test de Shapiro-Wilk (**Millot, 2008**) pour vérifier l’hypothèse de la normalité de la distribution des valeurs et par le test de Bartlett

pour valider l'homogénéité des variances des différents échantillons. Après chaque résultat significatif de l'ANOVA, l'analyse est poussée avec le test *post hoc* de Tukey DSH (différence significative honnête) pour donner les paires de moyennes différentes (**Millot, 2008**).

Enfin, les données ont été traitées avec le **logiciel R** « version 4.3.0 (2023-04-21 ucrt) » pour tracer les boites à moustaches réalisées à partir des quartiles calculés pour chaque paramètre et dans toutes les stations. Ce dernier a aussi été utilisé pour perfectionner le test de l'Analyse en Composantes principales (**ACP**) qui fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles (**Glere-Kakai et al., 2016**). Cette méthode est appliquée pour décrire les relations existantes entre les différentes variables étudiées (PM, Chla, Chlb, Chlab, proline).

# **Chapitre III**

## Résultats et Discussion

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter les résultats des travaux réalisés concernant les deux espèces végétales et de donner une interprétation à ces résultats.

Nous allons d'abord commencer par présenter les résultats obtenus concernant les PM et les paramètres physiologiques sous forme de boites à moustaches (*boxplot*). Puis nous allons exposer les résultats de l'ANOVA effectuée pour les mêmes paramètres. Ensuite allons montrer les corrélations entre les différents paramètres en exposant un ACP. Les résultats des paramètres physicochimiques mesurés sur nos échantillons seront présentés en dernier.

Nous allons clôturer le chapitre avec une discussion basée sur la comparaison des résultats obtenus avec d'autres résultats dans la littérature.

### **I. Aperçu général sur les données**

Avant de passer à l'analyse individuelle des résultats de chaque variable, nous avons choisi d'utiliser des statistiques descriptives pour décrire les diverses caractéristiques de nos données pour chaque espèce. Dans **Tableau VI** Pour *Xanthoria parietina* et *Polytrichum formosum*, sont rassemblés les paramètres de position (moyenne, médiane, premier quartile, troisième quartile, minimum, maximum) et les deux paramètres de dispersion (Ecart-type et Interquartile).

Regardant les moyennes (M) et les médianes (Me), nous pouvons constater qu'en générale les séries des différents paramètres (PMs, Ch. (a), Ch. (ab), proline), sont symétrique. Ainsi, dans la station Fénaia, la concentration moyenne de la Chl.a (de 22,3 µg/g) dans *Xanthoria parietina*, est proche de sa médiane de (22,1µg/g). Du même pour la station Kherratat où la concentration moyenne de la Chl.a (de 2,55 µg/g) est proche de sa médiane qui est de 2,35 µg/g. Pareil pour la proline, la valeur de la concentration moyenne de 0,1 µg/g, est la même valeur médiane calculée à partir des valeurs de mesurées dans la région de Kherrata **Tableau VI**.

En considérant les écarts-types de chaque série, nous remarquons qu'en générale, les valeurs des différents paramètres sont peu dispersées autour de leurs moyennes. Ils sont toujours quatre fois inférieurs à leurs moyennes respectives. Par exemple, l'écart-type trouvé à Adekar (0,54 µg/g) est plus de 160 fois inférieure à sa moyenne.

**Tableau VI.** Statistiques descriptives des données de l'espèce de *Xanthoria parietina*.

	<i>Xanthoria parietina</i>						<i>Polytrichum formosum</i>				
	Chl ( $\mu\text{g/g}$ )			Proline (ng/g)	PM ( $\mu\text{g/g}$ )	Chl ( $\mu\text{g/g}$ )			Proline ( $\mu\text{g/g}$ )	PM ( $\mu\text{g/g}$ )	
	a	b	ab			a	B	ab			
Fénaia	M	22,3	21,61	43,91	0,1	83,6	21,61	29,58	52,37	64,13	86,13
	Me	22,11	19,67	1,77	0,1	83,5	22,11	19,67	1,77	42,5	89,8
	ET	0,27	2,75	3,08	0,012	1,83	0,7	10,67	8,27	33,53	8,08
	Q1	17,66	14,63	32,29	0,09	82,45	19,89	18,035	39,61	40,44	82,4
	Q3	22,3	21,61	41,77	0,11	84,7	21,61	29,585	52,37	77	91,7
	IQ	4,64	6,98	11,61	0,01	2,25	1,72	11,55	12,76	36,55	9,3
Kherrata	M	2,55	15,57	35,15	1,06	60,8	13,18	11,01	24,15	177,41	54,93
	Me	2,35	12,00	29,81	1,07	61,8	12,57	12,33	24,91	184,95	53,2
	ET	0,28	7,34	7,55	0,004	2,39	0,86	1,85	1,06	25,98	3,41
	Q1	2,02	27,8	27,8	1,06	59,65	12,06	11,015	24,155	163,72	52,55
	Q3	2,555	35,15	35,15	1,07	62,45	13,185	12,93	27,995	194,87	56,45
	IQ	0,54	7,35	7,35	0,005	2,8	1,125	1,915	3,84	31,15	3,9
El-Kseur	M	17,94	9,13	26,75	1,07	61,6	12,3	6,62	18,73	233,06	72,7
	Me	18,06	8,18	26,66	1,08	58,3	7,29	8,97	16,65	236,7	72,5
	ET	0,16	1,96	0,13	0,004	5,24	13,65	3,32	16,68	16,65	4,41
	Q1	17,945	7,96	21,615	1,07	57,9	4,97	6,62	11,79	223,9	69,95
	Q3	20,64	9,35	26,755	1,08	63,65	14,625	9,165	23,59	244,05	75,35
	IQ	2,695	1,39	5,14	0,005	5,75	9,655	2,545	11,8	20,15	5,4
Béjaïa	M	19,58	3,52	6,08	1,11	91,73	17,68	7,07	24,7	285,5	45,8
	Me	19,43	3,73	6,08	1,09	92,8	19,43	3,73	6,08	277,41	44,7
	ET	0,21	0,29	0,9	0,02	4,63	4,44	4,42	8,86	71,14	3,95
	Q1	16,615	3,52	6,08	1,09	89,2	16,615	3,52	6,08	240,05	43,15
	Q3	19,58	7,29	6,86	1,012	94,8	19,58	7,29	6,86	326,9	47,9
	IQ	2,965	3,77	0,78	0,03	5,6	3,42	3,505	6,865	86,85	4,75
Adekar	M	17,63	10,99	28,93	0,13	90,83	8,72	9,81	18,54	203,96	56,3
	Me	16,15	11,7	31,13	0,14	91	13,08	11,24	25,78	197,5	60
	ET	2,1	2,94	3,1	0,016	0,54	6,15	4,08	10,23	29,9	7,53
	Q1	12,27	10,305	28,935	0,12	90,55	8,725	9,085	18,54	184,25	52,9
	Q3	17,635	12,39	33,025	0,14	91,2	15,48	11,97	27,45	220,45	61,55
	IQ	5,365	2,085	4,09	0,02	0,65	6,755	2,885	8,91	36,2	8,65

M : moyenne, Me : Médiane, Q1 : Premier Quartile,  
Q3 : troisième Quartile, ET : Ecart-type, IQ :  
Interquartile.

## II. Dosage de la chlorophylle

Le métabolisme de la chlorophylle est certainement le processus biochimique le plus visible chez les végétaux. Sa biosynthèse laisse apparaître la couleur verte des plantes ; tandis que sa dégradation se manifeste par la perte du pigment (**Folly, 2000**).

Dans ce qui suit, sont présentés les résultats de dosage de la chlorophylle effectué sur les thalles de *Xanthoria parietina* et sur les feuilles de *Polytrichum formosum*, sous forme de boites à moustaches et d'histogrammes pour révéler les différences observées.

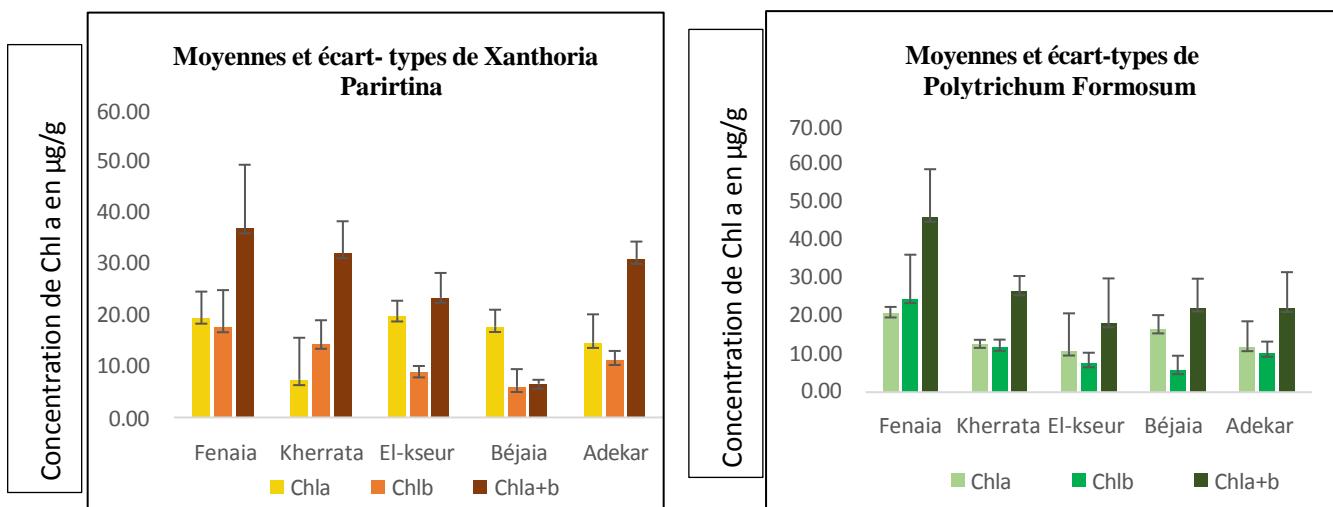
## II.1. Chlorophylle (Chla)

Après avoir examiné les statistiques du **Tableau VI**, nous pouvons passer à la comparaison des paramètres mesurés entre les différentes stations en utilisant les histogrammes et les boites à moustaches appropriés à chaque paramètre.

### II. 1. 1. Chlorophylle (Chla) dans *Xanthoria parietina*

Les concentrations moyennes des quatre stations (El-Kseur, Béjaia, Adekar et Fénaia) qui sont successivement de l'ordre  $17,94 \pm 0,16$  ;  $19,58 \pm 0,21$  ;  $17,63 \pm 2,1$  et  $22.3 \pm 0,27 \text{ } \mu\text{g/g MF}$ , sont avoisinantes entre elles mais sont largement supérieures à celle de Kherrata qui est de  $2.55 \pm 0,28 \text{ } \mu\text{g/g MF}$ .

L'ANOVA à un seul facteur appliqué sur cette variable révèle une différence très hautement significative entre les stations d'échantillonnage avec une valeur  $F=9,94$  et une valeur probable  $p=0,0016$  (**Annexe1 Tableau a**). En poussant l'analyse avec le test de Tukey (**Annexe 1 Tableau b**), nous avons constaté que la concentration moyenne de la Chl.a calculée sur la station de Kherrata est significativement différente des quatre autres moyennes calculées sur les autres stations avec des p-values qui sont de l'ordre de (Béjaïa :  $p=0,005$  ; El-Kseur :  $p=0,002$  ; Fénaia :  $p=0,003$  et Adekar :  $p=0,023$ ).



**Figure 17.** Variation des teneurs en chlorophylle a, b, ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations.

Selon les *boxplot* (**Figure 18, A**) tracées pour les mêmes échantillons de *Xanthoria parietina*, nous remarquons qu'au niveau de la station Adekar, l'interquartile est très élevé (5,36 µg/g). Ce qui signifie que les valeurs sont relativement éloignées entre elles. Cette valeur d'interquartile est dix fois plus élevée que celle calculée sur les données collectées à Kherrata et qui est de (IQ=0,54µg /g).

## **II.1. 2. Chlorophylle (Chl.a) dans *Polytrichum formosum***

La variation spatiale des résultats de Chl.a chez *Polytrichum formosum* illustrée dans **Tableau VI**, montre que la moyenne la plus élevée (21.61 µg/g) est trouvées dans la station Fénaia et la moyenne la plus basse, estimée de 08,72 µg/g MF est rencontrée à la station d'Adekar. Entre ces deux valeurs, des concentrations moyennes avoisinantes sont enregistrées au niveau des stations Kherrata, Elkseur et Béjaia. Elles sont successivement de l'ordre  $13,18 \pm 0,86$  ;  $12,30 \pm 13,65$  et  $17,68 \pm 4,44$  µg/g MF. Ces différences entre les stations sont confirmées par les résultats de l'ANOVA à un seul facteur appliqué sur cette variable. Ce test montre une différence significative entre les stations d'échantillonnage avec une valeur  $F=1,50$  et une valeur probable  $p<0,000$  (**Annexe 6 Tableau a**). En poussant l'analyse avec le test *post hoc* de Tukey, nous avons observé des différences hautement significatives entre la concentration moyenne calculée dans la station de Fénaia et celles calculées dans toutes les autres stations avec des p-values qui sont de l'ordre de (El-Kseur :  $p=0,284$  ; Adekar :  $p=0,387$  ; Kherrata :  $p=0,479$  ; Béjaia :  $p=0,895$ ).

Les boites à moustaches en (**Figure 18, D**) montre que la valeur médiane maximale de 21,11 µg/g et la valeur médiane minimale de 7,29 µg/g sont successivement calculées pour les stations Elkseur et la station Fénaia. Les autres médianes sont proches entre elles et qui sont de l'ordre de Kherrata : 22,11 µg/g MF ; Béjaia : 21,96 µg/g MF et Adekar : 20.82 µg/g MF. Selon les écarts interquartiles calculée sur *Polytrichum Formosum*, on distingue qu'au niveau de la station d'El-kseur et celle d'Adekar les interquartiles sont relativement élevés (9,65 ; 6,75 µg/g). Ainsi, l'IQ calculé sur les valeurs d'El-Kseur est neuf fois supérieur que celui de Kherrata (,12µg /g).

## **II.2. Chlorophylle (Chl.b)**

Le décrit les mêmes paramètres que le **Tableau VI** les valeurs de la moyenne et la médiane sont proches entre eux (21.61 et 15.57, 10.99, 09.13, 03.52 µg/g MF), respectivement station 01, station 02 qui sont les plus quantitatives, les stations 05 et 03 sont proches entre elles et la station 04 écartée.

#### **II-2-1- Chlorophylle (Chl.b) dans *Xanthoria parietina***

La variation selon les stations d'échantillonnage des concentrations moyennes de la Chl.b synthétisée par ce lichen a la même tendance que celle de la Chl.a. La valeur  $F=2,90$  et la valeur probable  $p=0,0780 > \alpha (0,05)$  (**Annexe 1, Tableau a**) de l'ANOVA appliquée sur cette variable, montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des différentes stations.

La médiane calculée sur la station Fénaia ( $19,67\mu\text{g/g}$ ) et affichée dans la (**Figure18, B**) est la plus élevée de toutes les autres moyennes calculées sur la Chl.b synthétisée par notre espèce de lichen. Nous observons clairement dans la station Adekar un Q2 ( $11,70\mu\text{g/g}$ ) au milieu de Q1 et de Q3. Ce qui représente une distribution symétrique. La station d'El-Kseur ( $\text{IQ}=1,39 \mu\text{g/g}$ ), montre des données sept fois moins dispersées que celle de Kherrata ( $\text{IQ}=7,35\mu\text{g/g}$ ).

#### **II. 2. 2. Chlorophylle (Chl.b) dans *Polytrichum formosum***

La valeur moyenne maximale de la Chl.b ( $29,58\mu\text{g/g MF}$ ) calculée sur les échantillons de *Polytrichum formosum* de la station Fénaia est plus de trois fois plus élevée que celles calculées dans les autres stations (Kherrata :  $11,01\mu\text{g/g MF}$ , Adekar :  $9,81 \mu\text{g/g MF}$ , El-Kseur :  $6,68\mu\text{g/g}$ , Béjaia :  $7,03\mu\text{g/g MF}$ ). En testant cette différence avec l'ANOVA à un seul facteur, il s'est avéré que la chlorophylle b de cette mousse, montre une différence significative entre les stations d'échantillonnage avec une valeur  $F=4,672$  et une valeur probable  $p=0,021$  (**Annexe 6 Tableau a**) Avec le test de Tukey, il est confirmé que la concentration moyenne de la Chlb calculée sur la station de Fénaia est seulement significativement différente de la moyenne calculée sur la station de Béjaia ( $p=0,020$ ) et celle d'El-kseur ( $p=0,035$ ).

Dans la (**Figure 18, E**) nous remarquons honnêtement que la médiane la plus élevée est calculée au niveau de la station Fénaia ( $22,04\mu\text{g/g}$ ) et que la médiane la plus basse est calculée au niveau de la station Béjaia ( $3,9 \mu\text{g/g}$ ). L'interquartile enregistré à Fénaia ( $11,55 \mu\text{g/g}$ ) est cinq fois plus élevé que celui enregistré à la station d'El-Kseur ( $02,54\mu\text{g/g}$ ). Les valeurs de la Chl.b dans station Fénaia sont alors les plus dispersées entre elles.

#### **II. 3. Chlorophylle (Chl. ab)**

##### **II. 3. 1. Chlorophylle (Chl. ab) dans *Xanthoria parietina***

Selon l'histogramme de (**Figure 17**) concernant *Xanthoria parietina* et en parallèle avec la variation spatiale des valeurs de la Chl.b, la moyenne de la Chl.ab la plus élevée est observée à la

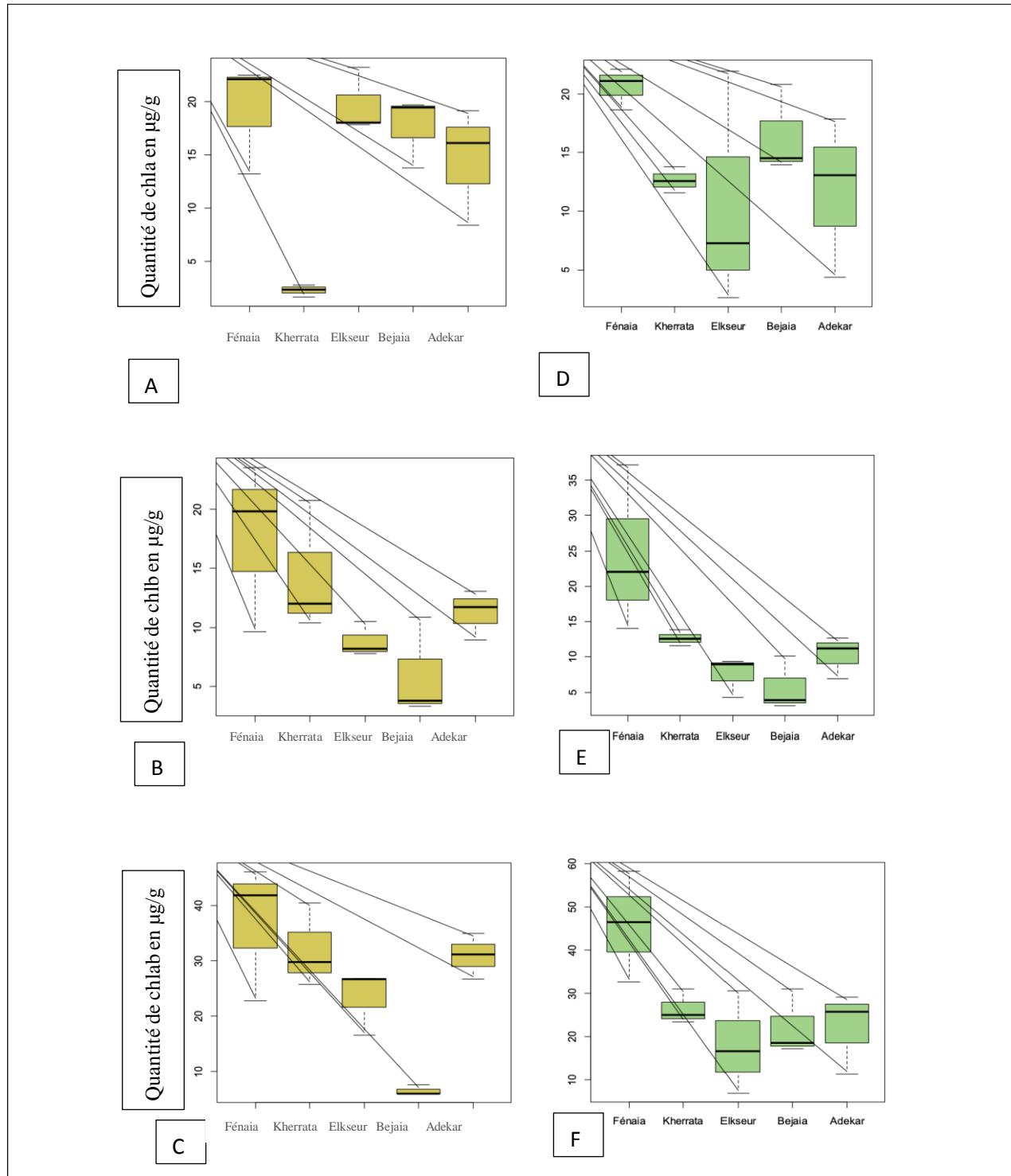
station Fénaia ( $43,91 \mu\text{g/g}$ ) et la moyenne la moins élevée est celle observée à Béjaïa ( $6,08 \mu\text{g/g MF}$ ). Les valeurs des concentrations moyennes pour les stations d'El-Kseur ( $26,75 \mu\text{g/g MF}$ ) et d'Adekar ( $28,93 \mu\text{g/g MF}$ ) sont avoisinantes. L'AVOVA à un seul facteur a donné une valeur  $F=8,0271$  et une valeur probable  $p=0,003$ . Ce qui confirme que cette différence entre les stations est très significative. Le test Tukey montre que la concentration moyenne de la Chl.ab calculée sur la station de Béjaïa est significativement inférieure à celles calculées sur les autres stations (Fénaia :  $p=0,003$  ; Kherrata :  $p=0,010$  ; Adekar :  $p=0,014$ ) mais pas à celle calculée à El-Kseur.

En examinant les boîtes à moustache de *Xanthoria parietina* concernant la variable (Chl.ab) (**Figure 18, C**), nous pouvons observer clairement que la valeur de Q3 ( $26,75 \mu\text{g/g}$ ) enregistrée à Elkseur est presque superposée sur son Q2 ( $26,66$ ) et le Q1 enregistré à Béjaïa ( $6,08 \mu\text{g/g}$ ) est le même que sa médiane ( $6,08 \mu\text{g/g}$ ) et que à la station de Fénaia le Q2 est au milieu entre Q1 et Q3. Ce qui prouve alors que certains de nos valeurs sont plus au moins symétriques par rapport aux autres. Comme pour les deux paramètres précédents les interquartiles calculés au niveau de Fénaia ( $11,61 \mu\text{g/g}$ ) et de Kherrata ( $7,35 \mu\text{g/g}$ ), sont les plus élevés. Les valeurs de la station Béjaïa sont quatorze fois moins dispersées que celle de Fénaia ( $IQ=0,78 \mu\text{g/g}$ ).

#### **II. 3. 2. Chlorophylle (Chl. ab) dans *Polytrichum formosum***

À partir de l'histogramme de (**Figure 17**) sur la variation de la Chl.ab dans *Polytrichum formosum*, nous pouvons distinguer entre les valeurs moyennes enregistrées dans les stations Kherrata ( $24,15 \mu\text{g/g MF}$ ) et Béjaïa ( $24,70 \mu\text{g/g MF}$ ) qui sont fortement proches entre elles d'un côté, celles enregistrées à El-Kseur ( $18,73 \mu\text{g/g MF}$ ) et à Adekar ( $18,54 \mu\text{g/g MF}$ ) qui sont proches entre elles de l'autre côté et enfin celle calculée à Fénaia qui estimée de  $52,37 \mu\text{g/g MF}$  est écartée de toutes les autres. Le résultat de l'ANOVA à un seul facteur affiche en (**Annexe 6 Tableau a**) une valeur  $F=3,8604$  et une valeur probable  $p=0,037$  et le test de Tukey, appliqué sur ce paramètre de la Chl.ab dans le cas de la mousse étudiée, confirme que la station de la moyenne calculée à Fénaia est significativement supérieure à celle calculée à El-Kseur ( $p=0,035$ ).

Il est évident que les valeurs de Q3 ( $18,84 \mu\text{g/g}$ ) sont approximativement superposées sur Q2 ( $18,44 \mu\text{g/g}$ ) dans la station de Béjaïa, tandis que la plus grande observation ( $Q2=46,52$ ) au niveau de la station 01 qui fait le double de la valeur moyenne enregistré au niveau de la station 04 de Q3 très basses (**Figure 18, F**).



**Figure 18.** Boxplot des variations spatiale de la quantité de la chlorophylle a,b,ab chez *Xanthoria parietine* (en jaune) et *Polytrichum formosum* (en vert) à Béjaia.

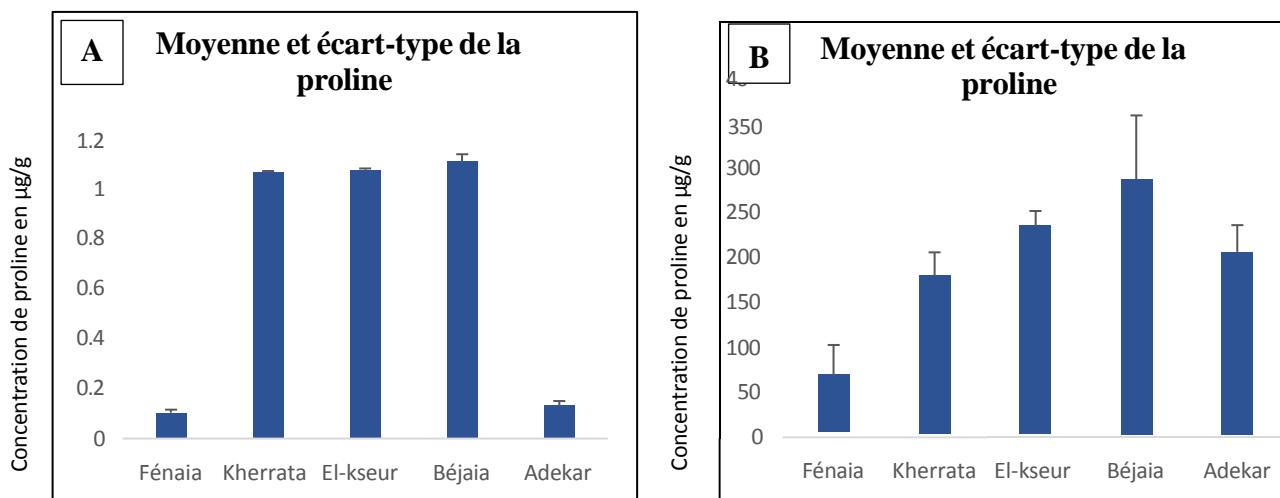
Selon les écarts interquartiles calculée, on distingue qu'au au niveau de la station 01 et 03 les interquartiles sont très élevés (**12,76 ;11,8 µg/g**) alors les valeurs de chlorophylles de *Polytrichum Formosum* sont éloignées. On peut trier qu'au au niveau de la station de Fénaia, montre des données trois fois plus supérieur que celle de Kherrata avec des écarts interquartiles de 12,76µg/g et 3,84µg /g.

### **III. Dosage de la proline**

Dans le but de visualiser les différentes concentrations de la proline accumulées dans les différentes stations, un histogramme et un boxplot ont été élaborés pour chacune de nos deux espèces *Xanthoria parietina* et *Polytrichum formosum*.

#### **III.1. Dosage de la proline *Xanthoria parietina***

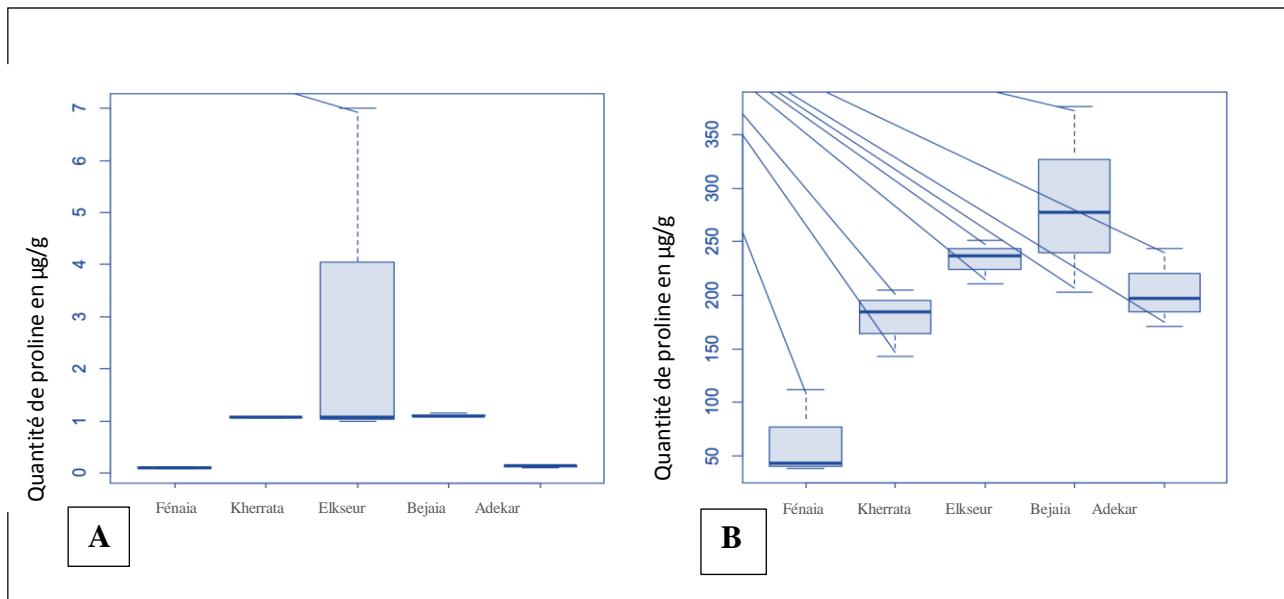
L'histogramme (**Figure19, A**) montre des concentrations moyennes avoisinantes dans un groupe de stations formé de Kherrata, El-kseur et Béjaia et qui sont successivement de l'ordre 1,06 ; 1,07 et 1,11 µg/g MF. Comme il montre un autre groupe formé des stations Fénaia (0,1 µg/g MF) et Adekar (0,13 µg/g MF). Par contre la station de Béjaia est écartée de toutes ces stations avec une valeur de 47,9µg/g MF. Les écart-types calculés sur les valeurs de la proline chez l'espèce *Xanthoria parietina* montrent des barres d'erreurs très concentrées autour de la moyenne dans toutes les stations. Ce résultat indique que les valeurs brutes de la proline sont toutes proches de la moyenne et sont plus uniformes et moins variées (**Figure 19, A**).



**Figure19.** Variations de teneur de la proline (µg/g) en fonction des stations.

Le test de Tukey révèle que la moyenne de la station est significativement élevée par rapport à celle de Fénaia ( $p<0,000$ ) et celle d'Adekar ( $p<0,000$ ).

En examinant l'emplacement des boîtes à moustaches des stations mentionnées dans le diagramme concernant *Xanthoria parietina*, nous observons des valeurs des trois quartiles (Q1, Q2, Q3) approximativement superposées pour les quatre stations Fénaia, Kherrata, Béjaïa et Adekar cela indique que toutes les valeurs sont identiques (**Figure 20, A**). El-Kseur est la seule station qui montre un écart interquartiles important (**0,01 µg/g**).



**Figure 20.** Boxplot des variations spatiales de la quantité de la proline chez *Xanthoria parietina* (A) et *Polytrichum formosum* (B) à Béjaïa.

#### III. 2. Dosage de la proline chez *Polytrichum formosum*

Les résultats l'histogramme en (**Figure 19, B**) concernant *Parietina formosum* ont montré que les concentrations moyennes de toutes les stations Fénaia (64,13 µg/g), Kherrata (177,41 µg/g), El-kseur (233,06 µg/g), Béjaïa (285,5 µg/g) et Adekar (203,96 µg/g) sont écartées l'une de l'autres. Ces écarts sont confirmés par l'ANOVA à un seul facteur appliquée dans ce cas en donnant une valeur  $F=8,44$  et une valeur probable  $p=0,003$  (**Annexe 6 Tableau a**) Le test de Tukey montre que c'est la concentration moyenne de la proline calculée sur la station de Fénaia qui est significativement différente de toutes les moyennes calculées sur les autres stations avec des p-values qui sont de l'ordre de (El-Kseur :  $p=0,01$  ; Adekar :  $p=0,03$  ; Béjaïa :  $p=0,001$  ; Kherrata :  $p=0,10$ ).

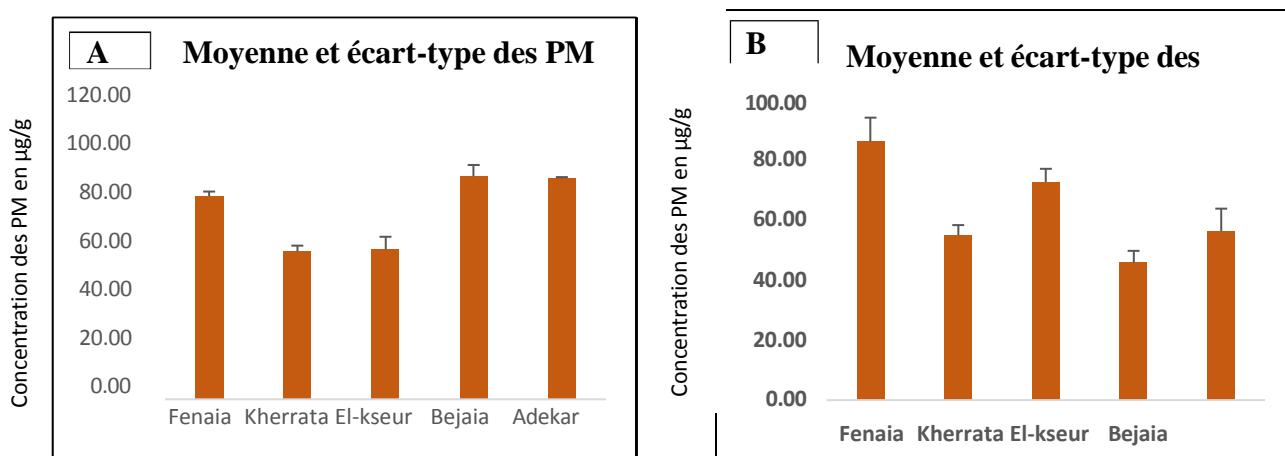
L'analyse de *boxplot* nous a donné des boîtes à moustaches non alignées (**Figure 20, B**) Nous remarquons clairement la symétrie dans la distribution des valeurs de toutes les stations à part celle de Fénaia où le Q2 (42,5 $\mu\text{g/g}$ ) est plus proche du Q1 (40,44 $\mu\text{g/g}$ ).

Selon le même graphe, nous remarquons que l'interquartile calculé sur les valeurs d'Elkseur est le moins élevés (20,15 $\mu\text{g/g}$ ). Il est quatre fois inférieur à celui calculé à Béjaïa (86,85 $\mu\text{g/g}$ ).

## IV. Évaluation de la quantité des poussières de cires

### IV.1. Évaluation de la quantité des poussières de cires extraites de *Xanthoria parietina*

Les résultats de *Xanthoria parietina* présentés dans l'histogramme (**Figure 21, A**) sous forme de moyennes et d'écart-type, montrent des concentrations de PM relativement élevées dans les stations Fénaia, Béjaïa, Adekar et qui sont successivement de l'ordre 84,7 ; 94,8 ; 90,55  $\mu\text{g/g}$  MF. D'autres valeurs moins élevées sont enregistrées dans les stations Kherrata (60,3  $\mu\text{g/g}$  MF) et El-Kseur (57,9  $\mu\text{g/g}$  MF) et 03 sont égales 57,5 $\mu\text{g/g}$  MF.



**Figure 21.** Variations de teneur de la proline ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations.

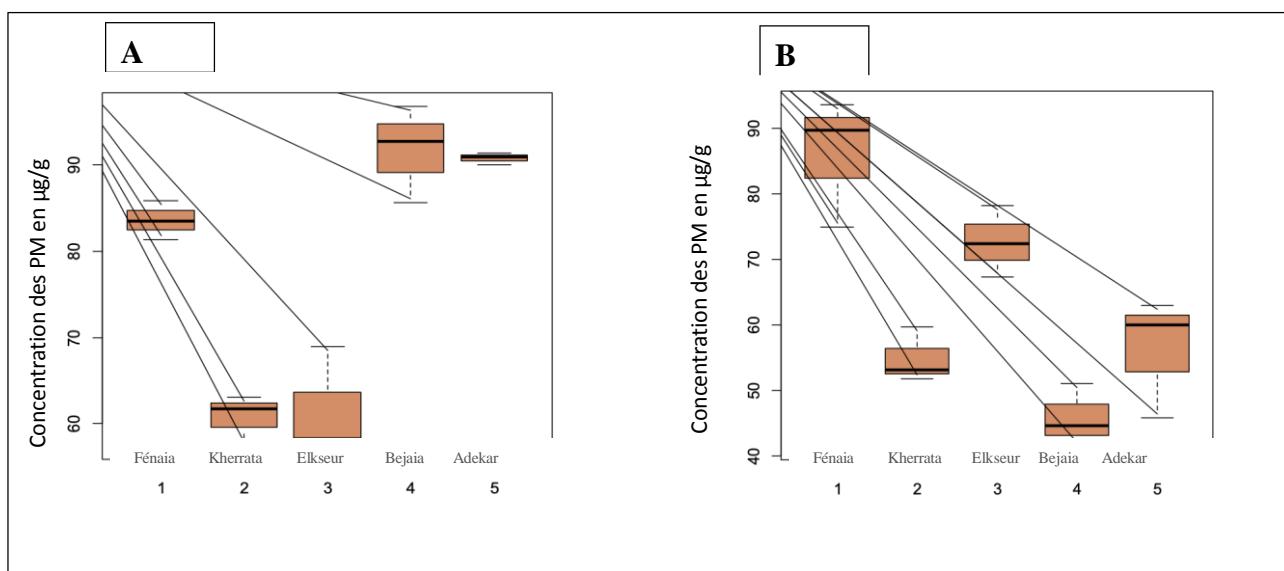
Des barres d'erreur (écart-types) presque toutes collées aux rectangles (valeurs moyennes) au niveau des histogrammes des deux espèces (*Xanthoria parietina* (**Figure 21, A**) et *Polytrichum formosum* (**Figure 21, B**) suggère que les valeurs ne sont pas dispersées. L'ANOVA à un seul facteur appliquée sur la variable PM, a montré une différence significative entre les stations d'échantillonnage avec une valeur  $F=40,65$  et une valeur probable  $p=0.00$  (**Annexe 1 Tableau a**).

Les résultats de Tukey révèlent des concentrations moyennes de la proline significativement dissimilaires entre les deux stations de Fénaia et Adekar et les autres moyennes calculées sur les autres stations des p-values qui sont toujours inférieures à 0,000 ( $p<0.000$ ).

Les valeurs médianes des PM des différentes stations varient entre 94,8 et 57,9  $\mu\text{g/g}$  MF (**Tableau VI**). Selon les écarts interquartiles calculée, on distingue qu'au niveau de la station El-Kseur et Béjaia les interquartiles sont élevés (5,75 ; 5,6  $\mu\text{g/g}$ ) alors les valeurs des PM de *Xanthoria Parietina* sont éloignées, au niveau de la station de Adekar, on peut tirer que les données sont huit fois moins dispersées que celle de El-kseur avec des écarts interquartiles calculées en ordre de 0,65 $\mu\text{g/g}$  et 5,75 $\mu\text{g/g}$ .

### IV.2. Évaluation de la quantité des poussières de cires extraites de *Polytrichum formosum*

L'histogramme (**Figure 21, B**) représente les concentrations moyennes des PM extraites des échantillons de l'espèce *Polytrichum formosum*. Il montre que les moyennes calculées sur les valeurs des deux stations Fénaia (82,4  $\mu\text{g/g}$  MF) et El-Kseur (72,8  $\mu\text{g/g}$  MF) sont avoisinantes. Ces valeurs moyennes sont succédées par celles des trois autres stations, Adekar (61,55  $\mu\text{g/g}$  MF), Kherrata (52,55  $\mu\text{g/g}$  MF) et Béjaia (47,9 $\mu\text{g/g}$  MF).



**Figure 22.** Boxplot des variations spatiales de la quantité de PM chez *Xanthoria parietina* (A) et *Polytrichum formosum* (B) à Béjaïa.

Ces différences entre les stations sont très significatives selon l'ANOVA qui donne une valeur  $F=15,41$  et une valeur probable  $p=0.0002$  (**Annexe 6 Tableau a**) En poussant l'analyse avec le test de Tukey, il s'est avéré que la moyenne calculée à Béjaia est significativement inférieure à celle de Fénaïa ( $p=0,0004$ ) et celle d'El-Kseur ( $p=0,006$ ).

Les boîtes à moustaches (**Figure 22, B**) tracées à bases des valeurs de PM extraites des différents échantillons de notre espèce de mousse (*Polytrichum formosum*) ne sont pas alignées. Ce qui signifie que les données entre les stations sont hétérogènes.

Selon la (**Figure 22**) nous pouvons remarquer que les données de PM mesurées sur *Xanthoria perietina* n'ont pas la même tendance de distribution que celles mesurées sur *Polytrichum formosum*.

### **V. Paramètre pH, glucose, protéine et des pigments**

Les espèces végétales s'adaptent constamment aux variations environnementales en modifiant leurs divers paramètres physicochimiques. Parmi ces paramètres, le taux de pH, les niveaux de glucides, de protéines et de pigments (comme les chlorophylles et les caroténoïdes) qui jouent un rôle crucial dans la croissance et la survie des plantes. Ces variations peuvent être observées en comparant des espèces végétales dans différentes stations, notamment rurales et urbaines.

Un tableau a été réalisé dans le but d'illustrer ces différents pigments en utilisant une chromatographie sur une couche mince (CCM) (**Tableau VII**).

**Tableau VII.** Résultat de la chromatographie sur une couche mince de *Xanthoria parietina* et de *Polytrichum formosum*

		Fénaia	Kherrata	El-kseur	Béjaia	Adekar
<i>Xanthoria parietina</i>	<b>pH</b>	6,09	6,48	6,33	6,15	6,33
	<b>Glucose</b>	0	10	21,67	26,67	26,67
	<b>Proteine</b>	20	30	20	20	20
	<b>Carotene</b>	44,75	31,16	48,98	60,51	22,83
	<b>Phéoa</b>	2,55	2,12	2,81	3,26	1,6
	<b>Phéob</b>	2,1	1,98	2,82	3,26	1,6
	<b>Chla</b>	1,2	2,2	1,98	1	1,19
	<b>Chlb</b>	0,5	1,1	0,71	0,4	0,61
<i>Polytrichum formosum</i>	<b>Xanthorophille</b>	0,49	0,59	0,75	0,89	0,51
	<b>pH</b>	6,22	6,6	6,33	6,25	6,51
	<b>Glucose</b>	26,67	50	21,67	38,33	26,67
	<b>Proteine</b>	16,67	20	10	36,67	20
	<b>Carotene</b>	41,53	39,89	42,92	54,1	29,98
	<b>Phéoa</b>	2,98	3,15	4,89	4,51	2,91
	<b>Phéob</b>	1,25	2,98	3,15	3,9	2,19
	<b>Chla</b>	2,1	2,29	2,19	1,98	1,56
	<b>Chlb</b>	0,8	1,5	1,07	0,65	0,19
	<b>Xanthorophille</b>	0,41	0,49	0,79	0,71	0,39

Le **Tableau VII** indique des valeurs de pH presque les mêmes pour toutes les stations chez *Xanthoria parietina* entre 6,48 et 6,09, pareil chez l'espèce *Polytrichum formosum*.

Les résultats de pigment Xanthorophylle présentés chez les deux espèces sont aussi proches entre toutes les stations. Il varie entre une valeur minimale de 0,39 enregistrée à la station de Adekar et une valeur maximale de 0,79 rencontrée à la station d'El-Kseur.

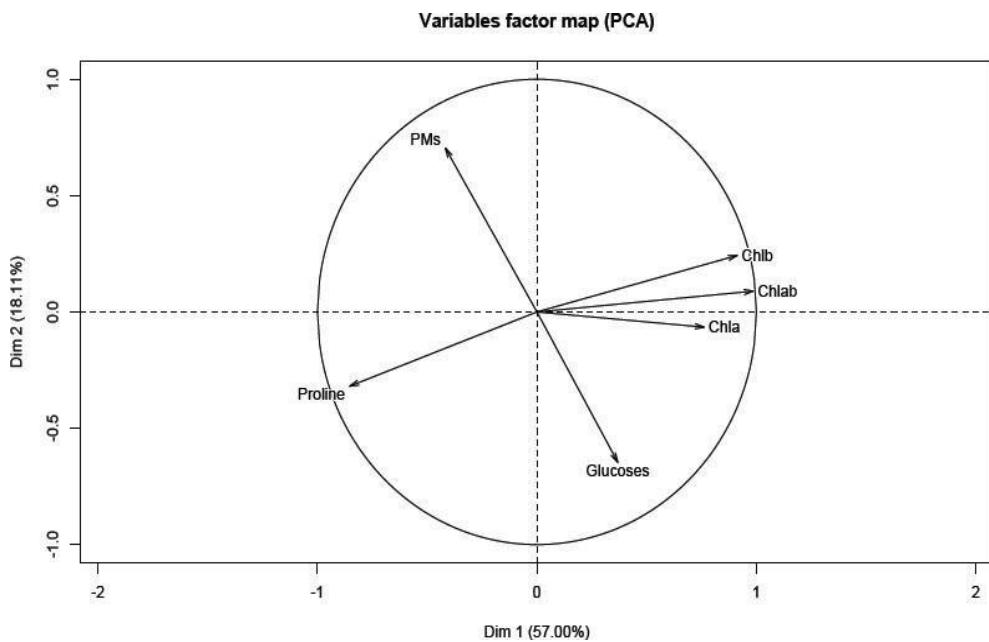
Nos deux espèces (*Xanthoria parietina* et *Polytrichum formosum*) contiennent du glucose, des protéines, de la pheophytine et du carotène. Le tableau précédent indique des valeurs presque identiques pour chaque pigment au niveau des cinq stations.

## **VI. Corrélations entre les paramètres**

L'ACP a été effectué séparément pour les deux espèces et sur les cinq stations d'étude pour tous les éléments étudiés. Cela pour mettre en évidence les relations existantes entre les variables (Chl.a, Chl.b, Chl.ab, Proline, PM, pH) à l'aide du cercle de corrélation.

### **VI.1. Corrélations entre les paramètres mesurés sur *Xanthoria parietina***

L'analyse en composantes principales (ACP) appliquée sur les résultats de notre lichen, a permis de visualiser la structuration de la variation totale d'un ensemble de six variables. Cette analyse révèle 85,11% (57% pour l'axe 1 et 18,11% pour l'axe 2) de l'information de notre ACP.



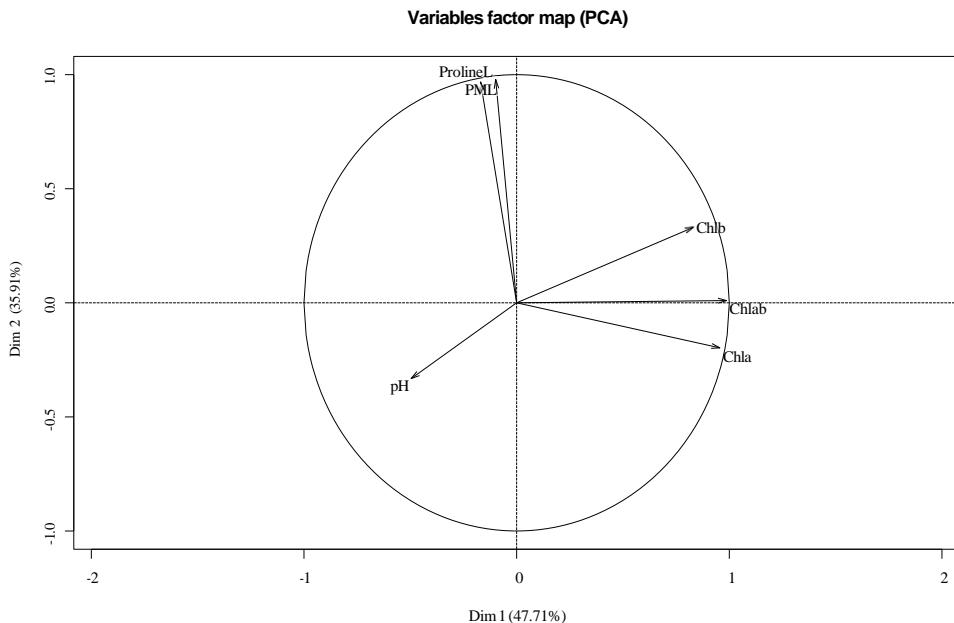
**Figure 23.** Cercle de corrélation de la chlorophylle (a, b et ab), de la proline, du glucose et de PM mesurés sur les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région de Béjaïa (Mai 2024).

D'après le cercle de corrélation et les résultats de l'ACP figurants dans (**Figure 23**) les variables physiologiques de chlorophylles (Chla et Chlb) montrent de fortes corrélations positives et significatives avec la chlorophylle ab avec des coefficients de corrélation qui sont successivement de l'ordre de 0,911 et 0,805 et elles sont corrélées entre elle avec un facteur de corrélation  $r=0,514$ .

Selon le même cercle de corrélation, nous avons remarqué une très faible corrélation positive entre la variable proline et la variable PM ( $r=0 ,180$ ).

## VI.2. Corrélations entre les paramètres mesurés sur *Polytrichum formosum*

D'après le cercle de corrélation (**Figure 24**), les deux axes principaux représentent à eux seuls 83,62% (47,71% pour l'axe 1 et 35,91% pour l'axe 2) de l'information de notre ACP.



**Figure 24.** Cercle de corrélation de la chlorophylle (a, b et ab), de la proline, du glucose et de PM mesurés sur les thalles de *Polytrichum formosum* dans la région de Béjaia (Mai 2024).

D'après ce cercle de corrélation et les résultats de l'ACP figurants dans le tableau et en coïncidence avec les résultats de cercle de corrélation précédent, les variables physiologiques chlorophylles (Chla et Chlb) montrent de fortes corrélations positives et significatives avec la chlorophylle ab et qui sont successivement de l'ordre de 0,949 et 0,858 et elles sont corrélées entre elle avec un facteur de corrélation  $r=0,664$ .

Cependant les trois paramètres de la chlorophylle montrent de faibles corrélations négatives avec la variable proline qui est corrélée positivement avec la variable PM ( $r=0 ,953$ ) (**Annexe 11**).

## VII. Discussion

Les lichens et les mousses sont des organismes testés afin d'évaluer les polluants atmosphériques (**Maizi et al., 2012**) (**Meyer et al., 2020**).

Les résultats obtenus par le présent travail montrent que les lichens et les mousses sont influencés par l'environnement, particulièrement par les concentrations de PM. Celles-ci fluctuent énormément selon les stations. Les valeurs les moins élevées chez *Xanthoria parietina* sont ainsi rencontrées à la station rurale de Kherrata suivies de la station industrielle d'El-Kseur. Comme chez notre lichen (*Xanthoria parietina*), la plus faible valeur moyenne de PM calculées chez notre mousse (*Polytrichum formosum*) est toujours enregistrée au niveau de la station de Kherrata mais dans ce dernier cas elle est suivie la station urbaine Béjaia. Tandis que les valeurs les plus élevées sont mesurées à la station rurale d'Adekar pour les deux espèces.

Parmi nos stations, la station rurale de Fénaia est caractérisée par des valeurs de chlorophylles les plus élevées et des concentrations de proline les plus basses.

D'après notre recherche sur les cinq stations rurales et industrielle on distingue que la concentration des PM et de la proline peut être aussi importante au niveau des stations rurales comme Kherrata, cela nous indique que la pollution de l'air est diffuse.

Nos résultats montrent des corrélations négatives entre les concentrations de chlorophylle qui est un paramètre physiologique reflétant la bonne santé de la plante et celles de la proline qui est un paramètre physiologique indicateur de l'état de stress de la plante. Nos résultats révèlent aussi une corrélation positive entre la proline et les PM. Ainsi les niveaux de proline sont rencontrés souvent dans les plantes exposées à des niveaux élevés de PM. Il s'agit d'une réponse adaptative au stress.

En comparant nos résultats (**tableau VIII**) concernant le paramètre de pollution (PM) à ceux trouvés dans la région de Bouira par (**Benaissa et al., 2023**), nous pouvons clairement déduire que notre valeur maximale (91,73 $\mu\text{g/g}$ ) enregistrée à Béjaia est inférieure à la leur (5700 $\mu\text{g/g}$ ). Notre valeur maximale est aussi inférieure à celle trouvée à Burkina Faso par (**Zoma, 2022**) (406 $\mu\text{g/g}$ ) mais elle reste considérablement élevée par rapport à celle trouvée dans la région de Beni Amrane par Boudieb et lounici en 2021 et qui est de l'ordre de 30 $\mu\text{g/g}$  et celle trouvée dans la région d'Akbou par Chouache et Hamidouche en 2022 (1,24 $\mu\text{g/g}$ ).

**Tableau VIII.** Comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature.

	Bouira Benaissa et al.; (2023)	Beni Amrane Boudieb, et lounici (2021)	Burkina Faso Zoma (2022)	Akbou Chouache et Hamidouche (2022)	Béjaia Chennit et Berkan (2022)	Présente étude
PM ( $\mu\text{g/g}$ )	5769,3	30	406	1,24	0,09	91,73-60,8
Chl.a ( $\mu\text{g/g}$ )	0,42-1,2	59	-	0,21	33,35	22,3
Chl.b ( $\mu\text{g/g}$ )	-	32	-	0,19	30,35	21,61
Chl.a ( $\mu\text{g/g}$ )	-	70	-	0,51	51	43,91
Proline ( $\mu\text{g/g}$ )	0,05	0,5	-	-	-	285,5-64,3

Pour les paramètres physiologiques de la chlorophylle nos résultats (Chl.a : 22,3  $\mu\text{g/g}$  ; Chl.b : 21,61  $\mu\text{g/g}$  ; Chl.ab : 43,91  $\mu\text{g/g}$ ) sont relativement inférieurs à ceux de trouvés à Béjaia par Chennit et Berkan en (2022) (Chl.a : 33,35  $\mu\text{g/g}$  ; Chl.b : 30,35  $\mu\text{g/g}$  ; Chl.ab : 51  $\mu\text{g/g}$ ).

# **Conclusion**

## **Conclusion**

---

La morphologie et la physiologie des végétaux peut varier en fonction de l'environnement. Pour cela nous avons effectué une analyse au laboratoire pour mesurer un paramètre de pollution atmosphérique (PM) des paramètres physiologiques notamment la chlorophylle (Chlorophylle a, Chlorophylle b et Chlorophylle ab), la proline, les paramètres physicochimiques de pH et de glucides.

Nos résultats ont révélé des différences significatives à très hautement significatives entre les stations concernant tous les paramètres mesurés chez les deux espèces.

Les stations de Béjaia et El-Kseur présentent une concentration particulièrement élevée par rapport aux autres, en raison de leur proximité avec des zones industrielles et des routes à fort circulation routière.

En plus de leur variation selon les stations, les concentrations des PM observées sur nos échantillons, varient aussi considérablement selon les deux espèces. Elles varient entre 0,1 $\mu\text{g}/\text{g}$  et 1,09 $\mu\text{g}/\text{g}$  chez *Xanthoria parietina* et entre 42,5  $\mu\text{g}/\text{g}$  et 277,41 $\mu\text{g}/\text{g}$  chez *Polytrichum formosum* trafic automobile. Les teneurs en PM sont positivement corrélées avec les concentrations de la proline enregistrées avec un facteur de corrélation de  $r=0,180$  chez les lichens et  $r=0,95$  chez les mousses.

Au niveau de la région de Béjaia et celle d'El-kseur, les concentrations de proline sont élevées par rapport à celles des autres stations comme Fénaia et Adekar. Cet acide aminé est un indicateur de la capacité des plantes à faire face aux contraintes environnementales.

Nos résultats sur la chlorophylle ont montré que plus l'environnement est pollué, plus les concentrations des différentes chlorophylles a, b, ab sont faibles. Nous avons ainsi confirmé que ce pigment est un bon bio-marqueur de la pollution atmosphérique ce qui explique sa large utilisation dans la littérature pour vérifier l'état de la plante dans l'environnement.

Au cours de la réalisation de ce travail, plusieurs obstacles ont été rencontrés, principalement sur le plan matériel. Le manque des plaques de CCM nous a obligées d'utiliser les bandes de papier Whatman.

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

## **Conclusion**

Nous avons également été confrontés à un manque de matériel de laboratoire et à des quantités insuffisantes de réactifs.

## **Références**

---

- Abensour, V., Charvolin, F., & Turcati, L. (2020).** Lichens GO. Sociologie d'une métrologie citoyenne de la qualité de l'air. Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, Vol. 11, n°3, Article Vol. 11, n°3.
- Adjiri Fatima., 2020.** « Valorisation de la Flore Lichénique de la Région de BBA et son Application comme Bio-indicatrice de la Pollution atmosphérique». Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, université Ferhat Abbas Sétif 1, département de biologie et écologie végétales, p 45.
- Adriana Basile, Daniela Rigano, Stefano Loppi , Annalisa Di Santi , Angela Nebbioso , Sergio Sorbo , Barbara Conte , Luca Paoli, Francesca De Ruberto , Anna Maria Molinari , Lucia Altucci , and Paola Bontempo ,2015.** « Antiproliferative, Antibacterial and Antifungal Activity of the Lichen *Xanthoria parietina* and Its Secondary Metabolite Parietin», International Journal of Molecular Sciences ISSN 1422-0067
- Alkio, M; Tabuchi, T.M; Wang, X. and Ada Colon-Carmona, A.** Stress responses to polycyclic aromatic hydrocarbons in *Arabidopsis* include growth inhibition and hypersensitive response-like symptoms. 2005, J. Exp. Bot, 56 (421), pp. 2983–2994.
- Allahnouri, M; Ghasemi Aghbash, F and Pazhouhan, I.** Traffic effects on leaf macro- and micro-morphological traits. *Folia Oecologica*. 2018, 45(2), 92-101.
- Allal, I. A. (2007).** Bisurveillance active de la pollution marine le long du littoral ouest algérien par l'évaluation de la stabilité de la membrane lysosomal chez la moule, *Mytilus galloprovincialis* (Lmck,1819). Article de revue.
- Amrani, F., Prud'homme, J., Maesano, C., & Annesi-Maesano, I. (2019).** Évolution de la pollution atmosphérique urbaine dans 13 grandes villes françaises entre 2008 et 2015. *Revue des Maladies Respiratoires*, 36(10), 1096-1106.
- Basly, L. (2000).** Télédétection pour la qualité de l'air en milieu urbain. Article.
- Beck, A., T. Friedl, et G. Rambold. 1998.** « Selectivity of Photobiont Choice in a Defined Lichen Community: Inferences from Cultural and Molecular Studies ». *New Phytologist* 139 (4): 709-20.
- Benaissa, F., Bourfis, N., Ferhoum, F., & Annesi-Measano, I. (2023).** Biomonitoring of Atmospheric PAHs and PMs Using *Xanthoria parietina* and *Cupressus sempervirens* in Bouira (Algeria). *Sustainability*, 15(20).
- Boussouara, K. (2010).** Étude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne [Mémoire de Master, Université de Batna].
- Boutabia, L. (2016).** Étude systématique et bioécologique des lichens corticoles de différents phorophytes au niveau de la région d'El Kala (Nord-Est algérien) [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Département de Biologie], 59 p.

## **Références**

---

- Brakni Rafika, 2018.** « Valorisation de la flore lichénique de la péninsule de l'Edough : Intérêt thérapeutique », Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, université Badji Mokhtar -Annaba En Spécialité, Biologie Végétale et Environnement, p 5- p 6.
- Cuny, D. (2012).** La biosurveillance végétale et fongique de la pollution atmosphérique : Concepts et applications. Annales Pharmaceutiques Françaises, 70(4), 182-187.
- Daguet, C. (2021, février 25).** Les Bryophytes : Les mousses. Place de la Nature.
- Delves, J., Lewis, J. E. J., Ali, N., Asad, S. A., Chatterjee, S., Crittenden, P. D., Jones, M., Kiran, A., Pandey, B. P., Reay, D., Sharma, S., Tshering, D., Weerakoon, G., van Dijk, N., Sutton, M. A., Wolseley, P. A., & Ellis, C. J. (2023).** Lichens as spatially transferable bioindicators for monitoring nitrogen pollution. Ecological Indicators, 149, 110238.
- Devkota, Shiva, Ram Prasad Chaudhary, Silke Werth, et Christoph Scheidegger. 2017.** « Indigenous Knowledge and Use of Lichens by the Lichenophilic Communities of the Nepal Himalaya ». *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 13 (1): 15.
- Douibi Chahra, 2020.** «Biodiversité lichénique de la région de Sétif et sa bio-indication dans la pollution atmosphérique». Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, de Valorisation et Protection de la Biodiversité Végétale p 18.
- Elin S. Olafsdottir, Kristín Ingólfssdottir. 2001.** « Polysaccharides from Lichens: Structural Characteristics and Biological Activity » *Planta Med* 67 (2001) 199 ± 208.
- Fadila, K. (2013).** Mécanismes d'action des polluants chimiques industriels (engrais et NOx) sur des bio-indicateurs de pollution (Mousses et Lichens) [Mémoire de Master, Université Ferhat Abbas Sétif 1].
- Flammarion, C. (1888).** L'atmosphère : Météorologie populaire. Hachette.
- Fox, D. L. (1987).** Air pollution. Analytical Chemistry, 59(12), 280-294.
- Garrec, J and Van Haluwyn, C. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Tec & Doc. 2002, 177 p.
- Ghennam, K., & Abdoun, F. (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 (La Terre et La Vie)*, 72(2), 134-146.
- Glere Kakai R., Salako V.K., Padonou E.A., Lykke A.M (2016).** Méthodes Statistiques Multivariées Utilisées En Écologie. Annales des Sciences Agronomiques 20- spécial projet Undesert-UE : 139-157.
- Gostin, I.N.** Air Pollution Effects on the Leaf Structure of some Fabaceae Species. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. 2009, 37 (2), 57-63.

## **Références**

---

**Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014).** Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383(9928), 1581-1592.

**Hans martin jahns, 2011.** « Lichens », guide des fougères, mousses et lichens d'Europe, France : Delachaux et Nestlé p240

**Khaldi, 2013.** « Mécanismes d'action des polluants chimiques industriels (engrais et NOx) sur des bio-indicateurs de pollution (Mousses et Lichens) ». Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, Université Badji Mokhtar, faculté des sciences, département de biologie, p 119.

**Lila kouadri., 2020.** « Evaluation des métaux lourds au moyen de la technique xrf application à l'étude de la pollution atmosphérique ».

Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, université de blida 1, Département de Physique. p 41.

**Ludwiczuk, A., & Asakawa, Y. (2019).** Bryophytes as a source of bioactive volatile terpenoids – A review. *Food and Chemical Toxicologie*, 132, 110649.

**M.hamralaine Ali Samir., 2020.** « Influence des paramètres écologiques sur les lichens corticoles associés au chêne vert des monts de Tesselah (Région Nord occidentale oranaise) : Inventaire et Valorisation». Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, Université Ibn Khaldoun – Tiaret, p 34.

**Mahapatra, B., Dhal, N. K., Dash, A. K., Panda, B. P., Panigrahi, K. C. S., & Pradhan, A. (2019).** Perspective of mitigating atmospheric heavy metal pollution: Using mosses as biomonitoring and indicator organism. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(29), 29620-29638.

**Meyer, C., Leblond, S., Jacquemin, B., & Lequy, É. (2020).** Métaux, pollution de l'air et santé : Les mousses, des alliées originales en épidémiologie. *médecine/sciences*, 36(4), 376-381.

**Millot G. (2008)** Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de **R**. 2ème édition. De Boeck.

## **Références**

---

**Molina, L.; Segura, A.** Biochemical and Metabolic Plant Responses toward Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals Present in Atmospheric Pollution. *Plants* 2021, 10, 2305.

**Mukhopadhyay, S; Dutta, R; Das, P.** A critical review on plant biomonitoring for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air through solvent extraction techniques. *Chemosphere* 2020, 251.

**Ogagaoghene, A.J.** pH level, Ascorbic Acid, Proline and Soluble Sugar as Bioindicators for Pollution. 2017, *ChemSearch Journal* 8(2): 41 – 49.

**ROSMARIE HONEGGFR, 1996**, «Experimental studies of growth and regenerative capacity in the foHose lichen Xanthoria parietina». Institute of Plant Biology, University of Ziirich, Zollikerstrasse 107, CH-8008 Ziirich, Switzerland

**Rydzyński, D; Piotrowicz-Cieślak, A.I; Grajek, H and Michalczyk, D.J.** Chlorophyll degradation by tetracycline and cadmium in spinach (*Spinacia oleracea L.*) leaves. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2019, 16, 6301–6314.

**Seyyednejad, S.M; Niknejad, M and Koochak, H.** A Review of Some Different Effects of Air Pollution on Plants. *Res. J. Environ. Sci.* 2011, 5, 302-309.

**Shen, Y.; Li, J.; Gu, R.; Yue, L.; Wang, H.; Zhan, X.; Xing, B.** Carotenoid and Superoxide Dismutase Are the Most Effective Antioxidants Participating in ROS Scavenging in Phenanthrene Accumulated Wheat Leaf. *Chemosphere* 2018, 197, 513–525.

**Swain, S ; Narayan Mallick, S and Prasad, P.** Effect of industrial dust deposition on photosynthetic pigment chlorophyll and growth of selected plant species in Kalunga Industrial areas, Sundargarh, Odisha. *Inter.J.Bot.Stu.* 2016, 1(5).

Talukdar, P; Ghosh, N; Malik, S; Atikur Rahaman CH. Effect of air pollution on plant growth and pollen viability. *WSN*. 2018, 109, 131-142.

**Thawale, P.R; Satheesh Babu, S; Wakode, R.R; Kumar Singh, S; Kumar, S and Juwarkar, AA.** Biochemical changes in plant leaves as a biomarker of pollution due to anthropogenic activity. *Environ Monit Assess*. 2011, 177(1-4), 527-35.

**Triola MM., Triola MF., 2012.** Biostatistique (pour les sciences de la vie et de la santé). Édition Pearson. 344p.

**Van Haluwyn, Ch., Lerond, M., & Bellemere, A.** « Guide des lichens », 120, boulevard Saint-Germain, 75280 Paris Cedex 06 : éditions lechevalier.344p)

**VU\_ Thi\_Huyen, 2014.** «Etude des acides gras du genre Stereocaulon Etude phytochimique du lichen *S. evolutum* Graewe». Travail de diplôme en vue de l'obtention de diplôme de doctorat, université de rennes 1, docteur de l'université de rennes, p 127.

**Wa, Elkhateeb, El-Ghwas De, et Daba Gm. 2022.** « Lichens Uses Surprising Uses of Lichens That Improve Human Life ». *Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences* 3 (2): 189-94.

## **Références**

---

**Yang, Mei-Xia, Shiva Devkota, Li-Song Wang, et Christoph Scheidegger.** 2021.  
« Ethnolichenology—The Use of Lichens in the Himalayas and Southwestern Parts of China ». *Diversity* 13 (7): 330.

# *Annexe*

## ANNEXES

### **Annexe 1. Résultats de l'ANOVA à un facteur (Tableaux (a)) et test de Tukey pour Chla Tableau(b)**

**Tableau (a).** Résultats de l'ANOVA à un seul facteur appliqué sur tous les paramètres

	F	P-value
Chla	9,9408	0,001637
Chlb	2,90476	0,078076
Chla+b	8,0271	0,003635
Proline	2175,37	0,00
PM	40,652	0,000004
pH	2,03	0,165998

Test de Tukey pour Chl a Tableau (b)

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	Fénaia		0,003	0,999	0,985	0,609
2	Kherrata	0,003		0,002	0,005	0,023
3	El-kseur	0,999	0,002		0,966	0,536
4	Béjaia	0,985	0,005	0,966		0,868
5	Adekar	0,609	0,023	0,536	0,868	

### **Annexe 2. Test de Tukey pour la Chl b**

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	Fénaia		0,908	0,215	0,070	0,484
2	Kherrata	0,908		0,602	0,247	0,914
3	El-kseur	0,215	0,602		0,938	0,965
4	Béjaia	0,070	0,247	0,938		0,647
5	Adekar	0,484	0,914	0,965	0,647	

### **Annexe 3. Test de Tukey pour la Chl ab**

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	Fénaia		0,918	0,226	0,003	0,847
2	Kherrata	0,918		0,604	0,010	0,999
3	El-kseur	0,226	0,604		0,101	0,708
4	Béjaia	0,003	0,010	0,101		0,014
5	Adekkar	0,847	0,999	0,708	0,014	

## ANNEXES

---

### Annexe 4. Test de Tukey pour la proline

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		<b>0,000176</b>	<b>0,000176</b>	<b>0,000176</b>	0,390746
<b>2</b>	Béjaia	<b>0,000176</b>		0,124056	0,300580	<b>0,000176</b>
<b>3</b>	Kherrata	<b>0,000176</b>	0,124056		0,967984	<b>0,000176</b>
<b>4</b>	El-kseur	<b>0,000176</b>	0,300580	0,967984		<b>0,000176</b>
<b>5</b>	Adekar	0,390746	<b>0,000176</b>	<b>0,000176</b>	<b>0,000176</b>	

### Annexe 5. Test de Tukey pour les PM

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		<b>0,000536</b>	0,000669	0,197824	0,284718
<b>2</b>	Kherrata	<b>0,000536</b>		<b>0,999249</b>	<b>0,000189</b>	<b>0,000195</b>
<b>3</b>	El-kseur	0,000669	<b>0,999249</b>		0,000194	0,000203
<b>4</b>	Béjaia	0,197824	<b>0,000189</b>	0,000194		0,998796
<b>5</b>	Adekkar	0,284718	<b>0,000195</b>	0,000203	0,998796	

### Annexe 6. Résultats de l'ANOVA à un facteur (Tableaux (a)) et test de Tukey pour Chla Tableaux (b)

Tableau(a). Résultats de l'ANOVA à un seul facteur appliqué sur tous les paramètres

	F	P
<b>Chla</b>	1,50524	0,000002
<b>Chhb</b>	4,67251	0,021901
<b>Chha+b</b>	3,8604	0,037853
<b>Proline</b>	8,4439	0,003022
<b>PM</b>	15,413	0,000281
<b>pH</b>	1,64	0,238885

Test de Tukey pour Chl a Tableau (b)

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		<b>0,479</b>	<b>0,284</b>	<b>0,895</b>	<b>0,387</b>
<b>2</b>	Kherrata	<b>0,479</b>		0,992	0,922	0,999
<b>3</b>	El-kseur	<b>0,284</b>	0,992		0,735	0,999
<b>4</b>	Béjaia	<b>0,895</b>	0,922	0,735		0,854
<b>5</b>	Adekkar	<b>0,387</b>	0,999	0,999	0,854	

## ANNEXES

---

### Annexe 7. Test de Tukey pour la Chl b

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		0,141	0,035	0,020	0,086
<b>2</b>	Kherrata	0,141		0,891	0,712	0,997
<b>3</b>	El-kseur	0,035	0,891		0,995	0,976
<b>4</b>	Béjaia	0,020	0,712	0,995		0,872
<b>5</b>	Adekkar	0,086	0,997	0,976	0,872	

### Annexe 8. Test de Tukey pour la Chl ab

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		0,179	0,080	0,035	0,077
<b>2</b>	Kherrata	0,179		0,981	0,819	0,978
<b>3</b>	Béjaia	0,080	0,981		0,982	1,000
<b>4</b>	El-kseur	0,035	0,819	0,982		0,984
<b>5</b>	Adekkar	0,077	0,978	1,000	0,984	

### Annexe 9. Test de Tukey pour la proline

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		0,002323	0,216007	0,000416	0,003184
<b>2</b>	Kherrata	0,002323		0,070898	0,542043	0,999227
<b>3</b>	El-kseur	0,216007	0,070898		0,006482	0,101727
<b>4</b>	Béjaia	0,000416	0,542043	0,006482		0,417926
<b>5</b>	Adekkar	0,003184	0,999227	0,101727	0,417926	

### Annexe 10. Test de Tukey pour les PM

	Var1	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
<b>1</b>	Fénaia		0,102371	0,012156	0,001947	0,036889
<b>2</b>	Kheratta	0,102371		0,647771	0,124504	0,960265
<b>3</b>	El-seur	0,012156	0,647771		0,692803	0,945571
<b>4</b>	Béjaia	0,001947	0,124504	0,692803		0,317475
<b>5</b>	Adekar	0,036889	0,960265	0,945571	0,317475	

## ANNEXES

---

**Annexe 11.** Tableau de corrélation ACP

	Chla	Chlb	Chlab	pH	PML	ProlineL
Chla	1.0000000	0.6644994	0.94908727	-0.4181259	-0.3435091	-0.26892157
Chlb	0.6644994	1.0000000	0.85846650	-0.2458661	0.2022845	0.23179799
Chlab	0.9490873	0.8584665	1.00000000	-0.3751550	-0.1403752	-0.07545413
pH	-0.4181259	-0.2458661	-0.37515505	1.0000000	-0.1552895	-0.23572727
PML	-0.3435091	0.2022845	-0.14037518	-0.1552895	1.0000000	0.95347040
ProlineL	-0.2689216	0.2317980	-0.07545413	-0.2357273	0.9534704	1.00000000

## Résumé

Cette étude se concentre sur l'utilisation de *Xanthoria parietina* et *Polytrichum formosum* pour évaluer les concentrations de la chlorophylle, de la proline de particules en suspension dans cinq stations à Béjaïa pendant la période Avril-Mai 2024. Les résultats ont révélé des variations significatives entre les stations et entre les deux espèces utilisées. En particulier, la station urbaine de Béjaïa a présenté les concentrations les plus élevées en PM ( $92,8 \pm 4,63 \mu\text{g/g}$ ) et en proline ( $277,4 \pm 71,14 \mu\text{g/g}$ ). Les mousses ont une capacité d'accumulation PM ( $77,58 \pm 14,61 \mu\text{g/g}$ ) un peu plus élevée que les lichens ( $63,17 \pm 16,05 \mu\text{g/g}$ ). L'analyse en composante principale a révélé des corrélations positives importantes entre les deux paramètres de pollution PM et la proline ( $r = 0,95$  pour *Polytrichum formosum*) ainsi qu'une corrélation négative entre les paramètres physiologiques (Chla, Chl b, Chl ab et la proline). Ce travail souligne l'efficacité potentielle des paramètres physiologiques dans la surveillance de la qualité de l'air, mettant en lumière l'importance de poursuivre de telles études pour comprendre les impacts environnementaux des activités anthropiques.

**Mots-clés :** Bioindicateurs, Paramètres physiologiques, *Xanthoria parietina*, *Polytrichum formosum*, PM, Pollution atmosphérique, Lichen, Mousses, Bejaia.

## Abstract

This study focuses on the use of *Xanthoria parietina* and *Polytrichum formosum* to evaluate the concentrations of chlorophyll, proline of suspended particles in five stations in Bejaia during the period April-May. The results revealed significant variations between stations and between the two species used. In particular, the urban station of Béjaïa presented the highest concentrations of PM ( $92.8 \pm 4.63 \mu\text{g/g}$ ) and proline ( $277.4 \pm 71.14 \mu\text{g/g}$ ). Mosses have a slightly higher PM accumulation capacity ( $77.58 \pm 14.61 \mu\text{g/g}$ ) than lichens ( $63.17 \pm 16.05 \mu\text{g/g}$ ). PCA revealed significant positive correlations between the two PM pollution parameters and proline ( $r = 0.95$  for *Polytrichum formosum*) as well as a negative correlation between physiological parameters (Chla, Chl b, Chl ab and proline). This work highlights the potential effectiveness of physiological parameters in monitoring air quality, highlighting the importance of pursuing such studies to understand the environmental impacts of anthropogenic activities.

**Keywords :** Bioindicators, Physiological parameters, *Xanthoria parietina*, *Polytrichum formosum*, PM, Air pollution, Lichen, Mosses, Bejaia.

## ملخص

تركز هذه الدراسة على استخدام نوعي *Xanthoria parietina* و *Polytrichum formosum* لتقدير تركيزات الكلوروفيل، والبرولين، والجسيمات العالقة في خمس محطات في بجاية خلال الفترة من أبريل إلى مايو 2024. وقد كشفت النتائج عن تباينات كبيرة بين المحطات وبين النوعين المستخدمين. على وجه الخصوص، أظهرت المحطة الحضرية في بجاية أعلى تركيزات في الجسيمات العالقة ( $92.8 \pm 4.63 \mu\text{g/g}$ ) ميكروغرام/غرام) وفي البرولين ( $277.4 \pm 71.14 \mu\text{g/g}$ ). أظهرت الطحالب قدرة تراكم للجسيمات العالقة ( $77.58 \pm 14.61 \mu\text{g/g}$ ) أعلى قليلاً من الأشنة ( $63.17 \pm 16.05 \mu\text{g/g}$ ). وقد كشفت تحاليل المكونات الرئيسية عن وجود ارتباطات إيجابية قوية بين مؤشرات التلوث (الجسيمات العالقة والبرولين) ( $r = 0.95$ ) وذلك ارتباط سلبي بين المؤشرات الفسيولوجية (Chla، Chl b، Chl ab) والبرولين). يبرز هذا العمل الكفاءة المحتملة للمؤشرات الفسيولوجية في مراقبة جودة الهواء، مسلطًا الضوء على أهمية مواصلة مثل هذه الدراسات لفهم التأثيرات البيئية للأنشطة البشرية.

**الكلمات المفتاحية:** مؤشرات حيوية، مؤشرات فسيولوجية، *Xanthoria parietina*، *Polytrichum formosum*، الجسيمات العالقة، التلوث الجوي، أشنة، طحالب، بجاية.

