

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة أمحمد بوقره بومرداس  
Université M'hamedBougara de Boumerdes



**Faculté des sciences**

**Département de Biologie**

**Mémoire de Master**

**Domaine** : Science de la Nature et de la Vie

**Filière** : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

**Spécialité** : *Biodiversité et Environnement*

**Thème**

**Bioaccumulation des HAP atmosphérique  
Par *Xanthoria parietina* dans la région de Beni Amrane  
(Boumerdes) en 2021.**

Présenté par :

Lounici Kenza

Boudieb Sarra

Devant le Jury composé de:

M <sup>f</sup> HARITI M.	MAA	UMBB	Président
M <sup>f</sup> LATRECHE K.	MCB	UMBB	Examineur
M <sup>me</sup> BENAÏSSA F.	MCA	UMBB	Promotrice

**Année universitaire 2020/2021**

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة أمحمد بوقره بومرداس  
Université M'hamedBougara de Boumerdes



**Faculté des sciences**

**Département de Biologie**

**Mémoire de Master**

**Domaine** : Science de la Nature et de la Vie

**Filière** : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

**Spécialité** : *biodiversité et environnement*

**Thème**

**Bioaccumulation des HAP atmosphérique  
Par *Xanthoria parietina* dans la région de Beni Amrane  
(Boumerdes) en 2021.**

Présenté par :

Lounici Kenza

Boudieb Sarra

Devant le Jury composé de:

M <sup>f</sup> HARITI M.	MAA	UMBB	Président
M <sup>f</sup> LATRECHE K.	MCB	UMBB	Examineur
M <sup>me</sup> BENAÏSSA F.	MCA	UMBB	Promotrice

**Année universitaire 2020/2021**

## ***Remerciements***

---

### **Remerciements**

*Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à mon encadreur Dr. Banaïssa Fatima pour sa compréhension ses conseils, son aide, sa gentillesse et ses orientations efficaces.*

*Nous remercions également les membres de jury (monsieur Hariti et monsieur Lattrache) d'avoir accepté de juger notre travail.*

*Nous remercions également tout l'ingénieur de laboratoire de l'écologie Mme Diaf Loundja pour son aide en nous fournissant les informations nécessaires ainsi que pour sa compréhension et ses conseils.*

*Nous adressons également nos profondes gratitude à tous les professeurs de l'Université M'hamed Bougara en particulier ceux du département des Sciences de la nature et de la vie et des Sciences de la terre.*

*Enfin, on remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Je dédie ce travail :*

*A mes très chers parents «Saïd et*

*Ouïlem yamina»*

*Que dieu me les garde et les*

*Protège.*

*A mes frères Mohamed et Rafik Iyes*

*Mes sœurs Nassima , Karima et son mari Mohamed*

*Aux petites anges de la famille Cyrine et Djawed Yasser*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

**Lounici Kenza**

*Je dédie ce travail :*  
*A mes très chers parents «Mustapha et aldjia»*  
*Que dieu me les garde et les Protège.*  
*A mes frères Zinedine et Zouhir*  
*Ma sœur Marwa*  
*A toutes ma famille*  
*A toutes mes amis*

**Sarra Boudieb**

Remerciements .....	
Dédicace.....	
Liste des figures.....	
Liste des Tableaux .....	
Liste des abréviations.....	

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

### **CHAPITRE I : CONTEXTE GENERAL**

1.bio surveillance de la qualité de l air .....	3
1.1definition de bio surveillance.....	3
1.2 prncipe de bio surveillance.....	3
1.2.1 bio surveillance dite sensible.....	4
1.2.2 bio surveillance par accumulation.....	4
1.3 stratège de la bio surveillance.....	5
1.3.1 bio surveillance passive.....	5
1.3.2 bio surveillance active.....	6
1.4 bio surveillance végétaux.....	6
1.4.1 mousses.....	7
1.4.2 champignons.....	7
1.4.3 ligneux.....	8
1.4.4 lichens.....	8
2.lichens, définitions ,écologie,et classifications.....	9
2.1 théories de la symbiose.....	9
2.2 écologie des lichens.....	9
2.3classification des lichens.....	10
3.principaux polluants atmosphérique,leur sources, et leur effet.....	11
3.1principoux polluants atmosphérique.....	11
3.1.1 polluants primaire.....	12
3.1.2 polluants secondaire.....	14
3.2 source de la pollution routière.....	15
4. utilisation des lichens en bio surveillance de la qualité de l air .....	17
4.1 historique.....	17

4.2 différentes méthodes de l'utilisation des lichens en bio surveillance de la qualité de air.....	18
5. aspects généraux de l'extraction des HAP assistée par solva.....	20
6. répartition géographique de <i>Xanthoria parietina</i> .....	22
Conclusion.....	20

### CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

Introduction.....	22
1. Description de la zone d'étude.....	22
1.1 situation géographique.....	23
1.2 climat de béni Amrane.....	23
1.3.1 température.....	23
1.3.2 vent.....	23
1.3.3 humidité.....	24
1.3.4 précipitation.....	24
1.4 topographie.....	24
2. travail du terrain.....	25
2.1 échantillonnage et sortie sur le terrain.....	25
2.2 données météorologie le jour de la sortie.....	26
2.3 matériel biologique.....	26
2.4 classification de <i>xanthoria parietina</i> (van haluynet et al,1993).....	27
3. travail au laboratoire.....	27
3.1 Réactif.....	27
3.2 matériel utilisé.....	28
3.2.1 Global Positioning system (GPS).....	28
3.2.2 appareil de Soxhlet.....	28
3.2.3 spectrophotomètre.....	28
4. extraction de HAP par la méthode de Soxhlet.....	28
4.1 protocole d'extraction de HAP.....	29
4.2 extraction des poussières et des cires.....	29
4.2.1 protocole d'extraction de poussière.....	30
4.3 dosage de la chlorophylle.....	30

4.3.1 protocole d'extraction de chlorophylle.....31  
4.4 dosage de la proline.....32  
5 analyse statistique.....33  
Conclusion.....33

**CHAPITRE III : Résultats et discussions**

introduction.....35  
1. distribution générale des données .....35  
2. paramètre de pollution.....36  
2.1. Quantité des HAP accumulées dans *xnathoria paritiena* .....36  
2.2. Quantité de PM déposée sur les thalles de *xnathoria paritiena*.....38  
3. paramètre physiologique.....40  
3.1 concentration de chlorophylle dans *xnathoria paritiena* selon les prélèvements .....40  
3.2 concentration de chlorophylle dans *xnathoria paritienas* selon les stations .....41  
3.3 concentration de la proline dans les thalles de *xnathoria paritiena*.....43  
4. corrélation entre les paramètres.....45  
5. discussion.....47  
6. conclusion

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Résumé/abstrat

## Liste des figures

---

<b>Figure 1:</b> Concept de bio-indication (cumy et al., 2012).....	5
<b>Figure 2:</b> Schéma de la symbiose lichénique.....	9
<b>Figure. 3.</b> Classificaion des lichens (Glauzade et Roux,1987; Ozanda,1990).....	11
<b>Figure 4:</b> Échelle de correspondance entre IPA et la pollution atmosphérique.....	19
<b>Figure 5:</b> Échelle de correspondance entre IQA et la pollution atmosphérique.....	20
<b>Figure 6 :</b> Schéma généralisé le chapitre matière et méthode.....	22
<b>Figure 7 :</b> Températures moyennes journalières des valeurs maximales (ligne rouge) et minimales (ligne bleue), avec bandes du 25e au 75e percentile et du 10e au 90e percentile. Les fines lignes pointillées sont les températures moyennes perçues correspondantes (Source : fr.weatherspark.com).....	23
<b>Figure 8:</b> Localisation des satation de échantillonnage au niveau de béni Amrane (googleearth 2021) .....	26
<b>Figure 9:</b> Aspect morphologique du <i>Xanthoria parietina</i> .....	27
<b>Figure10 :</b> protocole expérimental pour l'extraction des HAPs par Soxhet.....	29
<b>Figure 11:</b> protocole expérimentale d'extraction des poussière et des cires.....	30
<b>Figure12 :</b> protocole expérimentale de dosage de chlorophylle.....	31
<b>Figure13 :</b> l'extraction de la proline .....	32
<b>Figure14:</b> protocole expérimentale pour le dosage de la proline.....	33
<b>Figure 15:</b> Quantité des HAPs accumulée dans les échantillons de <i>Xanthoria parietina</i> .....	34
<b>Figure16 :</b> variation spaciales des HAPs accumulée dans <i>Xanthoria parietina</i> dans la régions de Beni amrane.....	35
<b>Figure17 :</b> Quantité des PM déposée sur les thalles sur les échantillons de <i>Xanthoriaparietina</i> .....	36
<b>Figure 18 :</b> Variation spaciales des PMs déposés sur les thalles de <i>Xanthoria paritiena</i> dans la régions de Beni amrane.....	38
<b>Figure 19:</b> Variation des teneurs en chlorophylle a, b,ab,( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des echantillons de prélèvement chez <i>Xanthoria parietina</i> dans la région de Beni Amrane (Juin 2021).....	40
<b>Figure 20:</b> Variation spaciales de3 type de chlorophylle a , b , ab dans chaque station d'échantillonnage dans la régions de Beni Amrane (Juin 2021).....	41
<b>Figure21 :</b> la quantité de la proline synthétésepar les échantillonsde <i>Xanthoria parietina</i> ....	42

## ***Liste des figures***

---

<b>Figure22:</b> Variation spaciale du quantité de proline synthésée par <i>Xanthoria paritiena</i> dans la région de Beni Amrane (Juin 2021).....	43
<b>Figure23:</b> Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur <i>Xanthoria pareitina</i> prélevés dans la ville de beni amraneen Juin 2021.....	45
<b>Figure 24:</b> Distribution des individus dans le cercle de corrélation.....	46

## ***Liste des tableaux***

---

<b>Tableau 1</b> : Méthode d'extraction avec des solvants étape de purification et technique pour l'évaluation des HAP (szulejko et al., 2004;balampanis et al.,2017).....	20
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques des points d'échantillonnage.....	25
<b>Tableau. 3</b> : Réactifs utilisés dans chaque extraction et précises la quantité des réactif dans chaque échantillon.....	28
<b>Tableau 4</b> : Paramètres de position calculés sur les données de l'étude.....	35
<b>Tableau5</b> : Paramètres de dispersion calculés sur les données de l'étude. ....	36
<b>Tableau 6</b> : Corrélation des paramètres mesurés avec les deux axes de cercle de corrélation.....	45

## ***Abréviations, sigles et symboles***

---

**HAP** : hydrocarbure aromatique polycyclique

**PM** : particule en suspension

**Chr** : chlorophylle

**M** : moyenne

**Me** : médiane

**Q1** : quartile 1

**Q3** : quartile 3

**Var** : variance

**ET** : Ecart type

**Min** : valeur minimale

**Max** : valeur maximale

**Ech** : échantillon

### **Introduction**

La surveillance biologique de la quantité de l'air doit son maintien et sa modernité au fait qu'elle est condamnée inéluctablement à évoluer. Le concept de base est toujours le même, mais ce sont les outils qui changent. Il lui faut constamment prendre en compte l'évolution des connaissances acquises tant au niveau du phénomène appréhendé (la pollution atmosphérique) qu'au niveau de l'organisme biologique utilisé (en l'occurrence, le végétal).

L'évolution des activités industrielles et des modes de vie a eu pour corollaire une profonde modification de la pollution atmosphérique aussi bien dans la nature et les concentrations des polluant que dans les modalités de dispersion de ces derniers. On peut même présumer que les différents composés présents dans l'atmosphère sont loin d'être tous mesurés voire même identifiés. Il reste encore beaucoup à connaître de leurs interactions (de manière synergique, antagoniste ou cumulative) (Mersch et Claveri 1997).

D'autre part, les sources émettrices ne sont pas toutes recensées et rares sont celles qui soient mono polluantes (Asta *et al* 2000). Enfin, il convient d'ajouter le rôle de cofacteurs tels que les paramètres climatiques et la gestion du territoire. On est donc passé progressivement de la notion de pollution atmosphérique à celle de qualité de l'air.

L'évolution des technologies, notamment dans le domaine de l'analyse, permet d'affiner de plus en plus notre connaissance de la pollution atmosphérique. Mais quel que soit le degré de performance de l'analyse, l'approche physicochimique ne peut prendre en compte qu'une juxtaposition de facteurs présélectionnés : ce sont les polluants que l'on choisit de mesurer (polluants indicateurs, pour reprendre les propos de Festy, 1999). Mais en aucun cas, elle ne peut rendre compte de leur devenir et de leur toxicité (aux doses mesurées) dans les systèmes biologiques (Wappelhorst *et al.*, 2000).

On peut considérer que la bio surveillance végétale a commencé à être utilisée comme une véritable technique de terrain autour des années 1960. Au-delà jusqu'aux années 1980-1990, cette période est caractérisée par la présence d'une pollution atmosphérique essentiellement d'origine industrielle, cette méthode a été utilisée avant tout dans le cadre de grands réseaux de végétaux et de lichens chargés de surveiller des zones industrielles, des régions voire des pays. Durant cette période, cette méthode biologique a connu un important développement surtout dans les pays fortement industrialisés du nord de l'Europe : Angleterre, Allemagne, Belgique, Pays-Bas (Impens *et al.*, 1981 ; Tonneijck et Posthumus, 1987).

## *Introduction*

---

À partir des années 1990, lorsque la pollution urbaine d'origine automobile est devenue la pollution la plus préoccupante, à l'origine de fortes concentrations d'ozone dans l'atmosphère, cette méthode a alors connu un nouveau développement dans les pays du sud de l'Europe : France, Espagne, Italie, Portugal. Mais il s'agit surtout de petites réseaux de plantes, chargés de surveiller les zones urbaines ou périurbaines (Mignanego *et al.*, 1992 et Mikhailova, 2000). Suite à l'intérêt actuel porté aux problèmes de pollution transfrontières, cette période a vu aussi apparaître de vastes réseaux de surveillance de la qualité de l'air au niveau du continent, au moyen de végétaux tels que les arbres et les lichens (Jensen *et al.*, 1992; Rühling, 1994)

En Algérie, peu nombreuses sont les recherches qui ont été menées sur l'utilisation des végétaux (notamment les lichens) pour évaluer la qualité de l'air, mis à part les quelques études réalisées dans la région d'Alger (Rahali, 2003), d'Annaba (Semadi, 1993 et Maizi, 2006, 2010) et de Tiaret (Maatoug, 2010). Ainsi, le suivi de ces études est plus que nécessaire. À cet effet nous avons orienté notre travail de recherche sur la biosurveillance des émissions atmosphériques à l'aide d'un lichen (*Xanthoria parietina*) dans la région de Beni Amrane (Boumerdes) en étudiant les HAP accumulés dans le lichen et la quantité de PM, ainsi qu'en étudiant la concentration de chlorophylle et de proline dans le lichen.

Au chapitre I, nous avons décrit le contexte général sur la biosurveillance de la qualité de l'air (définition, le principe et la stratégie de biosurveillance, la biosurveillance végétale, généralités sur les lichens, la pollution atmosphérique, méthode de l'utilisation des lichens en biosurveillance, et les méthodes d'extraction des HAP dans les lichens et dans *Xanthoria parietina*).

Le chapitre II, consacré à la présentation de la zone d'étude, de l'échantillonnage de *Xanthoria parietina*, le protocole expérimental et les analyses statistiques utilisées.

Les résultats obtenus ainsi que leur interprétation, sont présentés au chapitre III. Nous terminons par une synthèse des différents résultats et les perspectives.

# **Chapitre I : Contexte général**

La biosurveillance est une technique adaptée pour mettre en évidence une altération de l'environnement (pollution). C'est un outil d'amélioration de la surveillance de la qualité de l'air qui est basé sur l'observation de processus biologiques. Elle est considérée comme un outil complémentaire aux mesures physico-chimiques. Elle met en lumière l'impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement et permet d'établir des connexions avec la santé d'un végétal et la gestion de la biodiversité. Elle permettra d'accroître les connaissances et le suivi de l'impact de la qualité de l'air ou du changement climatique sur les écosystèmes (Jonathan, 2013).

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

La surveillance de la qualité de l'air consiste à mesurer systématiquement les polluants de l'air ambiant pour pouvoir déterminer l'exposition des récepteurs vulnérables (populations, animaux, végétaux) sur la base des normes et directives découlant des effets observés et identifier la source de la pollution atmosphérique.

### **1.1. Définition de la bio-surveillance**

La bio-surveillance est un ensemble de méthodes fondées sur l'observation des altérations fonctionnelles des êtres vivants) (Markert et al, 2003).

Elle a été définie par (Garrec et Va Haluwyn, 2002) comme l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes, pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution.

Elle utilise des êtres vivants, pour mettre en évidence les modifications de l'environnement dans lequel ils sont placés (Cuny, 2012), et fournit des informations sur la quantité de polluants ainsi que leurs effets sur les organismes qui ont été en contact avec les polluants.

C'est un bon outil pédagogique pour visualiser l'action agressive d'un polluant sur l'environnement et un moyen d'aborder ses impacts sanitaires (Markert et al, 2003).

### **1.2. Principes de bio surveillance**

La bio surveillance repose sur la faculté de certains organismes vivants a réagir a l'exposition d un ou plusieurs polluants pour révéler une altération de l environnement et pour en suivre son évolution(Garrec et van Haluwyn,2002). En figure 1, sont illustrés les différents concepts de cette démarche.

#### **1.2.1. Bio surveillance dite sensible**

La bio surveillance dite sensible est celle qui utilise des organismes qui répondent au stress

causé par la pollution. La mesure de cette sensibilité définit trois concepts : Biomarqueur, bioindicateur et biointégrateur.

#### **1.2.1.1. Bio-marqueur**

Le biomarqueur se situe au niveau infra-individuel : altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles. Exemples : dégradation de l'activité enzymatique, ou modifications de la respiration, de la photosynthèse et des constituants cellulaires tels que la chlorophylle a et b, les protéines solubles (Saitanis and Karandinos 2003).

#### **1.2.1.2. Bio-indicateur**

Le bioindicateur se place au niveau individuel : altérations physiologiques, tissulaires ou morphologiques visibles. Exemple : apparition de nécrose de plants de tabac exposés à l'ozone (Piervittori and Maffei, 2001).

#### **1.2.1.3. Bio-intégrateur**

Le biointégrateur se situe au niveau de la population et/ ou de la communauté : variation densitaire, présence/absence d'espèces. Exemple : diagnostic éco-lichenique pour déterminer un indice de pureté atmosphérique ( Piervittori and Maffei, 2001).

### **1.2.2. Bio surveillance par accumulation**

C'est la bio surveillance qui utilise des organismes qui ont la capacité de stocker les polluants dans leurs tissus (bio-accumulateurs) suite à des mécanismes de fixation et/ou de transfert. Le bioaccumulateur sert ici de matrice de dosage de différents polluants. Il doit répondre aux spécifications suivantes:

- accumuler le(s) polluant(s) et ce, sans disparaître;
- fournir suffisamment de tissus pour l'analyse;
- avoir un facteur de concentration suffisant pour pouvoir être analysé directement sans pré-concentration;
- présenter une concentration tissulaire du polluant représentative du niveau de contamination de l'environnement( Conti et al., 2001) .

La bio accumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire même si elle est toxique à ce dernier. Ces bio-indicateurs d'accumulation ou bio-accumulateurs, ont la propriété d'accumuler des polluants par dépôt, adsorption, absorption, migration, cette propriété sera notamment recherchée pour des polluants toxiques à l'état de trace dans le compartiment atmosphérique, le Concept de bio-indication se présente

selon le schéma de la (figure 1).

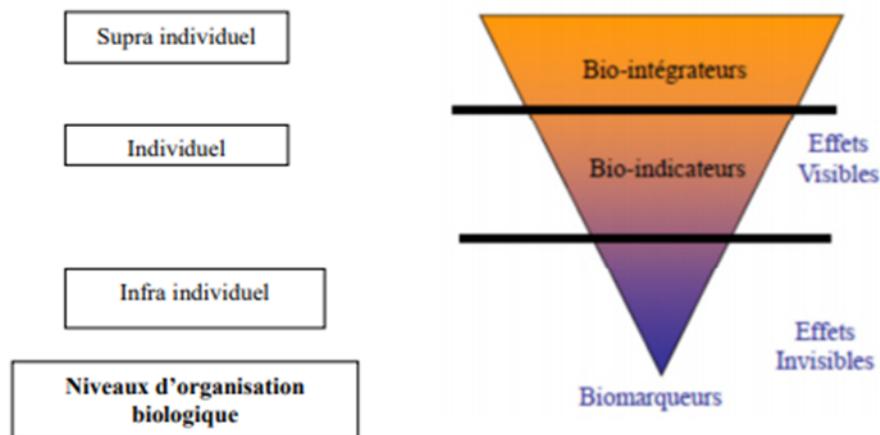


Figure 1: Concept de bio-indication (cumy *et al.*, 2012)

### 1.3. Stratégies de la bio surveillance

La bio surveillance concerne toute utilisation d'un organisme sensible à son milieu environnant pouvant faire état de ce dernier, soit par prélèvement direct depuis le milieu (bio surveillance passive), soit à travers la transplantation d'échantillons (bio surveillance active). Il devient donc important de définir, ici, les termes relatifs à la bio surveillance, en s'efforçant de différencier les mécanismes biologiques (bioaccumulation et bioamplification) des outils de diagnostic environnemental (bio intégration, bio indication, bio marquage et bioaccumulation)(Garrec et van Haluwyn, 2002).

#### 1.3.1. Bio surveillance passive

Autrement appelée **méthode in situ**, la bio surveillance passive utilise les organismes déjà présents sur le site (organismes indigènes. Elle a l'avantage d'être rapide. En effet, les végétaux ayant déjà été exposés aux polluants, il ne reste plus qu'à les collecter et à les analyser. On doit cependant veiller à ce qu'ils aient :

- une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentatifs de la zone étudiée,
- une saisonnalité compatible avec les objectifs de la campagne de mesure,

et un mode de collecte facile( Conti, M.E. and Cecchetti.2001).

La densité et la localisation des emplacements de prélèvement devront répondre aux objectifs de l'étude. Les enquêtes à grande échelle couvrant de plus grands domaines exigeront évidemment plus d'emplacements que des études de sources ponctuelles d'émission. Pour ces

dernières, les sites d'échantillonnage sont fréquemment choisis le long de transepts ou de gradients par rapport à la source de pollution.

Cependant, l'utilisation d'espèces indigènes détermine bien souvent le nombre et la localisation des emplacements.

À l'emplacement de prélèvement, une certaine attention devrait être accordée au substrat, celui-ci pouvant affecter la composition élémentaire de l'espèce étudiée.

### **1.3.2. Bio surveillance active**

Appelée aussi **méthode des transplants**, la bio surveillance active emploie des organismes dit transplantés. Elle peut être utilisée par exemple lorsque la méthode in situ n'est pas envisageable (absence d'organismes correspondant aux critères de l'étude). Cette dernière nécessite plus de temps. En effet, il faut laisser le temps aux transplants (organismes provenant d'une zone « saine ») d'accumuler les polluants présents dans leur nouvel environnement, cette phase d'exposition pouvant-être plus ou moins longue selon le type d'organismes choisi et le polluant étudié.

La transplantation est une technique expérimentale où les organismes utilisés pour l'étude sont transférés d'un environnement non pollué (milieu dit 'sain' : zone rurale...) vers un site pollué ou suspecté de l'être. Cette alternative à la méthode in situ permet de palier aux problèmes suivants :

- L'absence d'espèces utilisables dans la zone d'étude (niveau de pollution trop élevé, absence d'habitats du fait de l'urbanisation ou de l'industrialisation),

La mauvaise répartition d'une espèce qui ne permet pas un échantillonnage représentatif de la zone d'étude( Conti, M.E. and Cecchetti.2001).

### **1.4. Bio surveillance par les végétaux**

Les végétaux sont des outils de grand intérêt pour la bio-surveillance. Leur diversité offre un large éventail d'organismes utilisables tel que les Bryophytes, Lichens, les plantes à tige ou Cormophytes qui sont employés spécifiquement ou non pour détecter un grand nombre de polluants atmosphérique (ozone, oxydes d'azote, particules en suspensions, métaux lourds, HAP, dioxines, pesticides...). Mais en domaine de recherche les lichens se classe en premier lieu dans la bio-surveillance de la qualité de l'air (Shritama, *et al.*, 2020).

#### **1.4.1. Mousses**

Les mousses présentent l'avantage de ne pas posséder de système racinaire et de ne pas être recouvertes d'une cuticule, et par conséquent absorbent la majorité des nutriments et l'eau par voie aérienne : soit par contact avec l'air ou les précipitations, soit par l'impaction ou la

sédimentation des particules atmosphériques (Foan., 2012), Certaines études ont valorisé la propriété des mousses en bio-accumulation des polluants atmosphériques à la fois des retombées sèches ou humiques. Les rhizoïdes qui les fixent sur le substrat sont de fins filaments qui n'absorbent pratiquement pas d'éléments. La phase aqueuse avec ses constituants dissous est absorbée par la totalité de la surface des feuilles et des tiges. Ainsi l'exposition des mousses à différents polluants atmosphériques (SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) entraîne, chez les espèces sensibles, des décolorations et une réduction de la croissance. Mais ces effets sont assez ténus et les mousses sont généralement peu utilisées comme bio-indicateurs par comparaison avec les végétaux supérieurs (Garrec *et al.*, 2002).

Ces végétaux possèdent un rapport surface sur volume élevé, ce qui induit une forte accumulation des polluants atmosphériques par rapport à d'autres végétaux. Les mousses possèdent également une capacité d'échange cationique élevée, ce qui intensifie l'accumulation des polluants minéraux comme les métaux lourds. En ce qui concerne les polluants organiques persistants, c'est plutôt la quasi-absence de cuticule et donc la capacité des mousses à absorber les grosses molécules organiques qui favorise leur accumulation (Wegener *et al.*, 1992).

#### **1.4.2. Champignons**

Les champignons ont fait l'objet de nombreuses études pour leurs propriétés d'accumulation des métaux lourds et des éléments radioactifs qu'ils puisent dans le sol par leurs mycéliums. La plupart des études relatives à la bio-accumulation par les champignons s'intéressent certes aux propriétés de concentrateurs de ces éléments traces dans l'atmosphère via le sol; mais elles s'y intéressent surtout dans la perspective d'une transmission des polluants toxiques ainsi concentrés dans la chaîne trophique, soit par ingestion animale ou humaine, soit en passant dans les plantes naturelles ou cultivées pour les champignons en symbiose avec leur racine (Malcolm *et al.*, 2000).

#### **1.4.3. Ligneux**

Depuis fort longtemps, l'ensemble des espèces végétales dans un lieu donné apportent des renseignements sur l'écologie du milieu et ses caractères environnementaux, ainsi que sur ses modifications.

Chez les végétaux bio-indicateurs particulièrement sensibles, les perturbations dues aux pollutions atmosphériques vont se traduire rapidement par des nécroses foliaires, ainsi que par des modifications morphologiques et physiologiques. Dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique élevée provoque la raréfaction des organismes, certains

végétaux supérieurs qui persistent peuvent être utilisés comme bio-accumulateurs végétaux (Tomasevic *et al.*, 2005).

(Come *et al.*, 2006).a dressé une liste non exhaustive des espèces végétales qui peuvent servir aux études de biosurveillance des éléments traces métalliques. Parmi celles-ci figurent le tilleul, le bouleau, le chêne, le peuplier, le pin et le sureau, mais aussi l'ortie, le pissenlit, le plantain, et le ray-grass (Rzepkal *et al.*, 2008). On utilise très fréquemment les végétaux comme bio-accumulateurs. Ce sont le plus souvent les feuilles qui sont récoltées, dans lesquelles les polluants particuliers peu solubles peuvent être recueillis par lavage ou à l'aide d'un solvant (Stenbock-Farmer, 1978) et les polluants gazeux peuvent être analysés aisément dans les feuilles broyées à partir de leurs principaux éléments minéraux

En effet, les surfaces foliaires, grâce à la présence de cires et aux trichomes, retiennent fortement les particules collectées par les végétaux et se révèle une méthode simple et peu onéreuse pour avoir rapidement une très bonne estimation des niveaux-relatifs de différentes pollutions atmosphériques présentes en zones urbaine et péri-urbaine. C'est une méthode avant tout complémentaire des méthodes physico-chimiques classiques de mesure de la qualité de l'air (Garrec *et al.*, 2002). Les écorces se sont révélées d'excellents accumulateurs. Elles peuvent capter les polluants apportés par l'atmosphère ou provenant du houppier par le ruissellement le long du tronc. Notons que les troncs d'arbres constituent une matrice verticale commune, très enrichie par l'apport atmosphérique (Kebich *et al.*, 2001).

#### **1.4.4. Lichens**

Un lichen est une association symbiotique réciproque entre un partenaire fongique et une population d'algues ou de cyanobactéries unicellulaires ou filamenteuses. L'élément fongique du lichen est appelé mycobionte (du grec mykes « champignon » et bios « vie ») et l'élément photosynthétique est le photobionte (photo « lumière » et bios « vie ») (Raven, 2003).

### **2. Lichens, définition, écologie et classification**

Les lichens sont utilisés comme bio-accumulateurs et principalement pour la détection, de contamination en plusieurs polluants (INRA, 2009).

#### **2.1. Théories de la symbiose**

Les lichens sont des champignons qui vivent en étroite union avec des algues vertes ou des cyanobactéries (algues bleues). Une telle association de différents organismes s'appelle une symbiose (Schöller 1997).

Selon DesAbbeyes *et al.*, (1978), la symbiose lichénique se présente selon le schéma de la (figure 2).

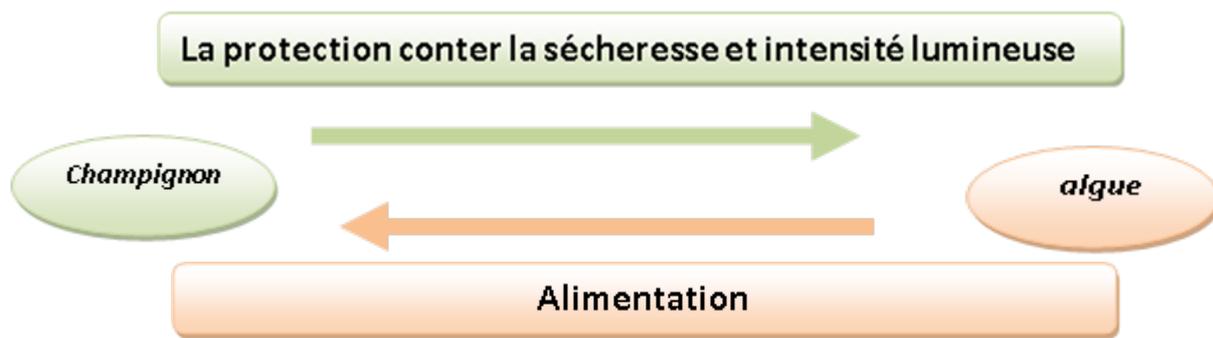


Figure 2: Schéma de la symbiose lichénique.

## 2.2. Écologie des lichens

La croissance des lichens est très lente, de l'ordre de 0.1 à 10 mm par an, exceptionnellement quelques centimètres.

Elle est plus lente en hiver qu'en été, plus rapide sur substrats riches.

L'âge des grands lichens est de l'ordre de plusieurs dizaines d'années pour les lichens foliacés et de plusieurs siècles pour les lichens crustacés de grande taille (Goujon, 2004).

Les lichens sont des végétaux pionniers qui colonisent tous types de milieux terrestres.

Ils se rencontrent sous tous les climats et toutes les altitudes, ils sont toutefois plus abondants au nord qu'au sud.

La répartition des lichens est influencée par différents facteurs: l'eau, la lumière, la température et le substrat (Goujon, 2004).

- **L'eau** : Selon Ozenda et Clauzade (1970), le problème de l'eau est très important et joue un rôle capitale dans la répartition des lichens, notamment parce que le degré d'hydratation du thalle conditionne les fonctions vitales et qu'un même lichen peut passer très rapidement de l'état de vie active à celui de vie ralentie, suivant les variations de son hydratation (phénomène de reviviscence).
- **La lumière** : Les lichens sont tous des végétaux héliophiles; seule une minorité d'espèce, comprenant presque exclusivement des lichens à cyanophycées, préfèrent les habitats ombragés, par exemple sous couvert forestier. Pour tous les autres lichens, la richesse tant en espèces qu'en individus augmente avec la luminosité des stations, comme on l'observe pour les roches ou les troncs d'arbres isolés. Les lichens ont 4 à 10 fois moins de chlorophylle que les plantes à poids égal, c'est une nécessité pour eux d'avoir des exigences en lumière plus grandes (Ozenda et Clauzade, 1970).
- **La température** : Il est considéré deux aspects de son action : d'une part l'effet sur

l'intensité des fonctions métaboliques et d'autre part la résistance aux conditions extrêmes de température

- **Le vent** : son action physiologique est indirecte et se fait par le biais d'une augmentation de la vitesse de dessiccation des thalles. Une action directe, mécanique, est la dispersion des fragments de lichens, jouant un rôle important dans la multiplication végétative du lichen (Ozenda et Clauzade, 1970).
- **Les facteurs liés au substratum** : Selon Ozenda et Clauzade (1970), les lichens se développent dans des milieux très variés, sur les substrats naturels ou artificiels souvent inattendu comme les métaux, le verre, le cuivre, les os, le carton. Toutefois ils font défaut dans la mer.

### 2.3. Classification des lichens

Les lichens sont des thallophytes, cryptophytes non vasculaires, ils peuvent être classés en fonction de leur substrat et du champignon partenaire (Ozenda, 1990), de la structure de thalle et de la distribution des deux partenaires dans la talle (Clauzade et Roux, 1987) (figure 3).

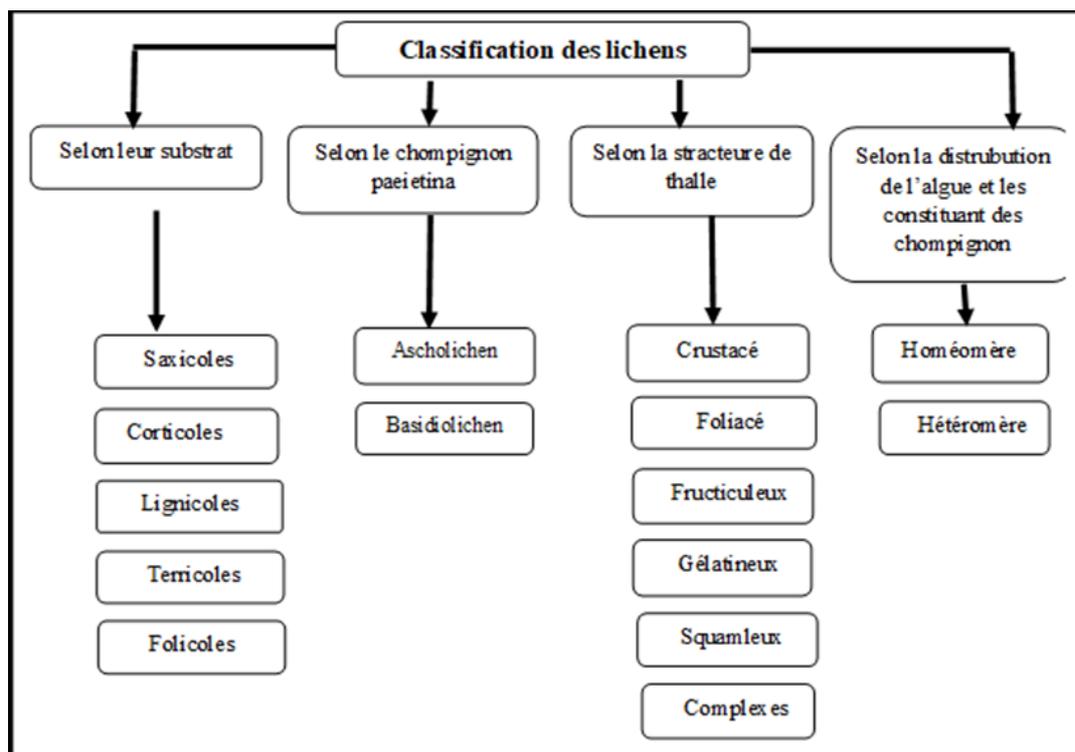


Figure 3. Classification des lichens (Clauzade et Roux, 1987; Ozenda, 1990).

### 3. Principaux polluants atmosphériques, leurs sources et leurs effets

La pollution est définie comme toute modification anthropique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du

flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle (Ramade, 2005).

### **3.1. Principaux polluants atmosphérique**

L'atmosphère terrestre est le siège d'un transport de matière, en particulier d'éléments d'origines diverses, dont une proportion importante résulte des activités humaines. Ce phénomène induit des conséquences parfois graves, pour la santé humaine et pour la fonctionnalité des écosystèmes. Les populations socio-économiquement défavorisées peuvent être à la fois plus exposées à la pollution atmosphérique et plus sensibles aux effets sanitaires en résultant (Catinon., 2010).

#### **3.1.1. Polluant primaire**

les polluants primaires sont ceux qui proviennent directement d'une source polluante identifiée, tels que le monoxyde de carbone provenant des processus de combustion et présent dans les gaz d'échappement des voitures, le dioxyde de soufre provenant de l'industrie (Mayer, 1999).

##### **3.1.1.1. Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)**

C'est un gaz toxique qui se transforme en anhydride sulfurique (SO<sub>3</sub>) en présence d'oxygène et en acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en présence d'eau. Il intervient de manière prépondérante dans le phénomène des pluies acides. Tout les pays industrialisés émettent du SO<sub>2</sub> mais les pays en voie de développement tel que l'Inde et la Chine (50% de SO<sub>2</sub> émis en 2003) sont actuellement les principaux pollueurs depuis que les pays fortement industrialisés sont équipés en techniques performantes et de dépollution du SO<sub>2</sub> (Masclat et al., 2005).

##### **3.1.1.2. Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**

Ces oxydes d'azotes regroupent le monoxyde d'azote (NO), gaz incolore et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), gaz roux et toxique. NO reste peu de temps dans l'air car il s'oxyde rapidement en NO<sub>2</sub> lequel est prépondérant dans les atmosphères polluées. Ils sont en constante augmentation en raison de la forte augmentation du parc automobile en passant de 108 Tg/an en 1985 à près de 150 Tg/an en 1998. Les émissions des NO<sub>x</sub> au USA ont pu atteindre les 50 Tg/an actuellement (Masclat., 2005).

##### **3.1.1.3. Monoxyde de carbone (CO)**

il résulte de la combustion incomplète des combustibles fossiles (charbons, fuels, ...). Ce gaz est toxique (pour les êtres vivants) et peut causer des asphyxies mortelles à hautes concentrations. Il est considéré comme l'un des composés principaux dans la problématique de la

qualité de l'air intérieur, l'AFSSET a introduit une valeur guide de 100 mg/m<sup>3</sup> pour une exposition de 15 min en CO comme une valeur limite de cette espèce au sens de la qualité de l'air intérieur. Pour ce qui concerne l'air extérieur, la Directive Européenne 2008/50/CE indique une valeur limite de 10 mg/m<sup>3</sup> pour un maximum journalier sur 8 heures (C.E., 2008). On trouve ce gaz en abondance dans les villes et aux abords des autoroutes à cause des véhicules à moteurs à combustion. Cela en fait un des traceurs de la pollution atmosphérique de type trafic.

#### **3.1.1.4. Composés organiques volatils (COV)**

Les composés organiques volatils sont des substances de faible masse moléculaire correspondant à des solvants et à divers liquides de faible tension de vapeur. Très présents dans la nature, notamment dans les pétroles, se sont des composés organiques formés exclusivement d'hydrogène et de carbone. Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV ainsi que le méthane et le propane (Lacour., 2009).

#### **3.1.1.5. Métaux lourds**

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux : traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn) (Parmentier et Garrec, 1994).

#### **3.1.1.6. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Ce sont des polluants organiques persistants (POP) émis par les activités humaines suite à la combustion incomplète de la matière organique (industrie, chauffage, trafic routier...). En raison de leur faible taux de dégradation, de leur toxicité, de leur capacité à être transportés sur de longues distances et de leur bioaccumulation dans la matière organique, les HAP font l'objet d'une surveillance atmosphérique (directive cadre européenne 96/62/CE du 27 septembre 1996). Ces polluants parmi d'autres polluants organiques tel que : polychlorobiphényles (PCB), les dioxines (polychlorodibenzo-p-dioxines ; PCDD), les furanes (polychlorodibenzofuranes; PCDF), l'hexachlorobenzène (HCB), pesticides organochlorés (e.g. DDT, aldrine), les phénols polycycliques (Jones et de Voogt, 1999).

Parmi les HAP, seize sont recensés depuis 1976 sur la liste des polluants organiques prioritaires de l'Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement (USEPA), cette classification est en fonction du nombre de cycles ou du nombre de noyaux aromatiques qu'ils

contiennent. (Foan, 2012).

Chauffées par le soleil, les feuilles de certains végétaux des forêts de conifères et des zones humides exhalent des substances constituées d'une agglomération de molécules d'hydrocarbures lourds et de composés oxygénés : les terpènes (polymères de l'isoprène  $C_5H_8$ ). Ces substances sont pour la plupart aromatiques (odeurs caractéristiques des maquis, des forêts de résine) et donnent une couleur bleutée à la brume qui se forme au-dessus de la végétation. Les terpènes sont extraits des végétaux sous la forme d' « huiles essentielles » :

- le pinène ou térébenthine ( $C_{10}H_{16}$ ) qui constitue environ 20 % de la résine de pin et que l'on utilise comme solvant ;
- le menthol ( $C_{10}H_{19}OH$ ), alcool terpénique extrait de l'essence de menthe poivrée et utilisé comme anesthésique local
- le camphre ;
- la citronnelle, etc.

Les hydrocarbures sont émis par les automobiles (présence d'hydrocarbures imbrûlés à la sortie du pot d'échappement), et par certaines activités telles que l'imprimerie, les ateliers de peinture, l'utilisation de solvants et de colles, les raffineries et unités pétrochimiques, le stockage et la distribution d'hydrocarbures, le traitement des déchets.

Ils sont également rejetés par des sources naturelles : les feux de forêt, qui libèrent près de 2000 tonnes de HAP par an, sont sans doute la plus grande source naturelle. Cependant, ces rejets étant généralement très éloignés dans le temps et dans l'espace, ils n'entraînent pas de risque d'exposition continue (Lacour., 2009).

Les HAP s'introduisent dans l'environnement pendant la phase gazeuse ou agglutinés à des particules, principalement la suie. Dans l'air ambiant, 25 % des HAP adhèrent à des particules et 75 % se présentent sous forme gazeuse, à l'exception des substances provenant des alumineries

### **3.1.2. Polluants secondaires**

Les polluants primaires peuvent se transformer dans la basse atmosphère, sous l'action des rayons solaires et de la chaleur, en polluants dits secondaires tels que l'ozone et autres polluants photochimiques (les PAN ou nitrates de peroxyacétyle, aldéhydes, cétones, etc.). Ces composés constituent le smog photochimique, donnant naissance à ce nuage brunâtre qui stagne parfois au-dessus des grandes villes.

**3.1.2.1. Ozone ( $O_3$ )** Le brouillard photochimique (smog), forme de pollution gazeuse et particulaire rencontrée dans les atmosphères ensoleillées et polluées riches en oxydes d'azote

et en hydrocarbures (aldéhydes par exemple), peuvent, par réactions photochimiques, produire de l'ozone ( $O_3$ ) et des substances telles que l'acroléine et les peroxy-acyl-nitrates (PAN). Seuil OMS (Organisation Mondiale de Santé) : 200g/m<sup>3</sup> d'air et par heure. De telles valeurs peuvent occasionnellement être dépassées lors de journées très ensoleillées.

L'augmentation des concentrations locales de méthane et d'hydrocarbures, sous l'effet catalytique des oxydes d'azote, conduit à une production photochimique d'ozone troposphérique ( $O_3$ ) qui contribue ainsi au « sureffet » de serre, soit directement par la capacité de l'ozone à absorber le rayonnement terrestre, soit indirectement par la neutralisation accrue des radicaux OH, incapables alors de « nettoyer » l'atmosphère de ses excédents de méthane et de monoxyde de carbone. Sa concentration dans l'air varie fortement de 0,02 à 0,1 ppm et parfois plus. (Boussaboua, 2010).

### **3.1.2.2. Peroxy-acyl-nitrates (PAN)**

Ils se forment dans les atmosphères urbaines par réactions photochimiques complexes entre divers polluants : oxydes d'azote, ozone et hydrocarbures imbrulés rejetés dans l'air par chaufferies industrielles ou domestiques ainsi que par les échappements des véhicules à moteur à explosion. Les PAN sont plus fréquents dans les villes à climat méditerranéen et tempéré. Ce sont des composés organiques du groupe des photo-oxydants qui se forment dans les environnements urbains des régions chaudes et ensoleillées.

## **3.2. Source de la pollution routière**

Les activités humaines, tout comme les processus naturels modifient les milieux où ils se déroulent. A travers l'air (poussière et gaz) et l'eau que les risques sont souvent les plus présents. Depuis 20 ans, la pollution industrielle a baissé de 45 à 65 %, la pollution due aux transports a augmenté de plus de 30 %, la cause principale étant l'accroissement du trafic automobile (Joumard et al., 1995).

En 2005, près de 890 millions de véhicules parcouraient la planète. En 2007, le milliard était dépassé. De 1955 à 2005, en 2009, plus de 61 millions de véhicules. La production automobile mondiale a atteint un record en 2011 avec 80,1 millions d'unités fabriquées (Organisation internationale des constructeurs automobiles (OIAIC)). Depuis 2011, l'Asie est désormais le premier continent producteur, avec 40,6 millions d'unités fabriquées dont 18,4 millions en Chine, le premier pays producteur mondial. Elle est suivie par les Amériques (17,8 millions d'unités) et l'Europe (17,7 millions de véhicules). Selon les Nations Unies, le parc automobile mondial devrait tripler d'ici 2050 alimenté à 80% par les économies en développement.

D'une manière générale, le transport routier représente 69 % des émissions de NO<sub>x</sub> (oxydes d'azote), 64 % des émissions de CO (monoxyde de carbone), 33 % des émissions de particules en suspension et 33 % des émissions de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique). Pour (Kulkarni, et al., 2008) il existe des polluants dites des polluants traceurs des rejets automobile, appelé aussi polluant marqueurs caractéristique de pollution routière. Leur présence dans l'écosystème permet de détecter le dépôt et le cheminement de cette pollution. Les polluants indicateurs de pollution automobiles sont les oxydes d'azote, le benzène, stérans et triperpanespentacycliques, le plomb et les Hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP).

Les quantités de polluants rejetées par chaque véhicule sont appelées « émission unitaire ». Elles sont sous l'influence d'un ensemble de facteurs qui sont :

- **Type de véhicule:** véhicule particulier (VP), véhicule utilitaire (VU), poids lourd (PL) et catégorie à deux roues.
- **Variations entre les carburants et les diverses technologie :** en ce qui concerne les carburants, les moteurs diesels, moteur à essence et la climatisation des véhicules.
- **L'état du véhicule et son entretien :** l'âge du véhicule joue un rôle très important ainsi que son entretien.
- **Niveau de chargement du véhicule :** un véhicule chargé émet une plus grande quantité de polluants puisque son moteur doit développer pour atteindre une vitesse plus de puissance que lorsque le véhicule est vide.
- **Condition de circulation :** elle concerne essentiellement les phases d'accélération, de décélération et la durée des arrêts aux feux. Mais la vitesse du véhicule reste l'une des conditions les plus importantes d'émissions de polluants.
- **Route :** elle constitue une variable très importante d'émission de polluants mais deux paramètres sont pris en considération : l'altitude et la pente.
- **Facteurs climatiques :** la température de l'air joue un rôle important puisqu'elle conditionne la durée qu'il faudra au moteur pour atteindre (70°C) lors du démarrage à froid. Le vent, en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules constitue autre paramètre influençant les émissions de polluants.

Parmi toutes les sources de pollution, le trafic routier est la principale source de pollution de l'air dans les villes. Malheureusement, les modèles disponibles actuellement pour quantifier ce type d'émissions exigent à la fois beaucoup d'efforts, d'argent et de temps. Ils font obstacles à l'étude et à la gestion de la qualité de l'air. Par conséquent, de nouvelles stratégies pour améliorer la qualité de l'air sont extrêmement difficiles à appliquer. Il est donc nécessaire de développer une nouvelle méthodologie pour quantifier les émissions du trafic routier afin de

gérer la qualité de l'air d'une manière plus efficace (Bang Ho., 2010).

#### **4. Utilisation des lichens en bio surveillance de la qualité de l'air**

Les lichens sont utilisés comme des bioindicateurs et biointégrateurs performants dans la détection de la pollution atmosphérique.

##### **4.1. Historique**

L'étude des lichens a commencé il y a plus d'un siècle, mais sous forme d'explorations de naturalistes qui faisaient la collection des espèces lichéniques récoltées sur leur chemin et identifiées par Nylander (1866). Plusieurs botanistes se sont alors succédés en ce sens et ont pu marquer l'histoire de la lichénologie algérienne (Boutabia, 2000). Les premières herborisations lichénologiques en Algérie furent faites en 1840 sous la direction de Bory de St-Vincent.

L'étude des lichens récoltés faite par Montagne et Durieu de Maisonneuve a été publiée à Paris en 1846. Nylander dans le « ProdromuslichenographiaeGaliae et Algériens » cite 189 lichens comme en Algérie. En 1854 le célèbre lichénologue publia ses études sur les lichens de l'Algérie où figurent 167 espèces : 141 appartiennent à Durieu, 25 ont été récoltées par M. Cosson d'après Flagey (1896).

les années 1970 durant lesquelles la pollution atmosphérique acide fait l'objet de surveillances particulières, des protocoles de bioindication se sont développés et succédés, tant qualitatif que quantitatif, avec leurs avantages et leurs inconvénients. Van Haluwyn et Lerond (1993) distinguent deux types d'approches : les méthodes qualitatives déterminant le degré de pollution à partir d'observation de terrain ou par une échelle de correspondance entre la flore lichénique et le taux de pollution, et les méthodes quantitatives calculant un indice de pollution à partir des espèces lichéniques sans critère de pollution.

##### **4.2. Différentes méthodes de l'utilisation des lichens en bio surveillance de la qualité de l'air**

Depuis les années 1970 durant lesquelles la pollution atmosphérique acide fait l'objet de surveillances particulières, des protocoles de bioindication se sont développés et succédés, tant qualitatifs que quantitatifs, avec leurs avantages et leurs inconvénients. Van Haluwyn et Lerond (1993) distinguent deux types d'approches : les méthodes qualitatives déterminant le degré de pollution à partir d'observation de terrain ou par une échelle de correspondance entre la flore lichénique et le taux de pollution, et les méthodes quantitatives calculant un indice de pollution à partir des espèces lichéniques sans critère de pollution.

###### **4.2.1. Méthode Hawksworth et Rose (1970)**

Le travail de Hawksworth et Rose en 1970 constitue une méthode qualitative pionnière faisant

intervenir un lien entre les lichens épiphytes et la pollution soufrée. Cette approche, élaborée en Grande-Bretagne, classe près de 80 espèces dans 11 zones (de 0, pollution maximale, à 10, air pur) avec une correspondance de concentrations hivernales moyennes en SO<sub>2</sub>. Les cortèges, les abondances et d'autres caractéristiques biologiques comme les fructifications permettent de préciser la classe. Deux types de cortège sont distingués selon la nature de l'écorce : acide ou neutre (Cette approche s'applique sur des arbres adultes en milieu ouvert (pour éviter les biais microclimatiques) en préconisant la représentativité naturelle.

Cette méthode ne concerne cependant que la pollution soufrée étalonnée en Grande Bretagne. Elle nécessite donc un réajustement pour deux raisons : l'utilisation dans d'autres pays est délicate et la pollution soufrée est aujourd'hui et demain plus faible que dans les années 1970 (van Haluwyn et Lerond, 1993).

Dans la même année, une approche floristique quantitative est élaborée au Québec permettant la détermination d'un indice de pollution à partir de la flore lichénique épiphyte : l'indice de pureté atmosphérique (IPA) (LeBlanc et Sloover, 1970). Il se calcule à partir de la fréquence des espèces rencontrées dans une station, selon la formule suivante :

$$IPA = \sum(Q \times f) / 10$$

Avec :

$i$ , espèce lichénique

$n$ , le nombre d'espèces dans la station  $Q_i$ , l'indice écologique de l'espèce  $i$ .

$f_i$ , le coefficient de recouvrement de l'espèce  $i$  (de 1, rare, à 5, abondante)

Le coefficient  $Q$  d'une espèce est déterminé empiriquement en additionnant le nombre d'espèces accompagnantes présentes sur tous les sites étudiés, puis en divisant par le nombre total de sites. L'échelle des valeurs d'IPA (figure 4) peut alors avoir une correspondance au niveau de la qualité de l'air.

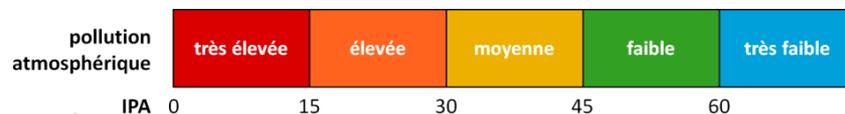


Figure 4: Échelle de correspondance entre IPA et la pollution atmosphérique.

Le protocole préconise l'observation d'au moins 10 arbres isolés dans des stations les plus homogènes possible entre elles. Ceci est important pour permettre une comparaison entre les stations, d'autant que cette méthode n'admet pas de correspondance directe avec une teneur en polluants. Des variantes de cet indice ont été développées lors d'un projet suisse et validé en effectuant des comparaisons statistiques avec les teneurs en polluants atmosphériques (Herzig *et al.*, 1987 ; Krickeet, 2002).

#### 4.2.2. Méthode vanHaluwyn et Lerond (1986)

Cette approche phytosociologique française découle des deux méthodes précédentes en essayant de s'affranchir de leurs inconvénients. En effet, la méthode van Haluwyn et Lerond (1986) se veut multi-pollution, bien qu'initialement basée sur des espèces sensibles à la pollution acide.

De même, contrairement à l'approche IPA, elle tente d'être applicable dans toute région, malgré sa validation dans la moitié nord de la France. Cette méthode est basée sur la présence/absence d'un nombre limité d'espèces lichéniques indicatrices (37 espèces au total) sur six arbres différents, permettant de définir sept zones de A (zone polluée) à G (zone pure).

#### 4.2.3. Méthode VDI (1995)

Afin de s'affranchir davantage de la pollution acide, une méthode allemande se base sur un indice pour évaluer la pollution globale : indice de la qualité de l'air (IQA) (figure 5).

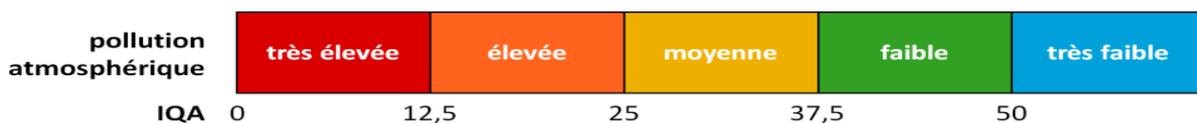


Figure 5: Échelle de correspondance entre IQA et la pollution atmosphérique.

Cet indice repose sur la somme des fréquences moyennes rencontrées sur six arbres (VDI, 1995), reprise par Kirschbaum et Wirth (1997), en lien direct avec la pollution atmosphérique. Cette approche n'est pas spécifique d'une région donnée et complète ainsi la méthode van Haluwyn et Lerond (1986).

#### 4.2.4. Méthode Lallemand *et al.*, (1996)

Depuis les années 1980–1990, la pollution soufrée laisse la première place à la pollution azotée. Les espèces lichéniques nitrophiles deviennent donc dominantes dans les zones fortement impactées, au détriment des espèces nitrophobes, nécessitant de profondes révisions dans les échelles de bioindication. Cette nouvelle méthode française a donc été mise au point pour illustrer la pollution par  $\text{NH}_3$  ou  $\text{NO}^-$  (Lallemand *et al.*, 1996). Cette échelle comprend cinq zones, de 1 (forte charge en azote) à 5 (faible charge en azote) basée sur la présence/absence de 17 espèces clefs (nitrophiles ou non).

#### 4.2.5. Méthode Asta *et al.*, (2002)

Cette approche a été retenue au niveau européen pour réaliser la cartographie de la diversité lichénique (Asta *et al.*, 2002). Elle élabore une valeur de diversité lichénique (VDL) basée

sur la somme des fréquences des espèces lichéniques. Utilisant les quatre faces de l'arbre, cette valeur correspond à l'IQA multipliée par deux, car deux fois plus de surface échantillonnée.

Les HAP ont trouvé une place privilégiée dans la problématique de la pollution de l'air ils font partie des polluants organiques persistants, définis par la convention de Stockholm (2001), deux traités internationaux dont l'objectif commun était de limiter les émissions de ces molécules capables de s'accumuler dans les différents compartiments de l'environnement et susceptibles d'être nocives ou toxiques pour la santé humaine et les ressources naturelles (Desalme, 2011).

### **5. Aspects généraux de l'extraction des HAP assistée par solvant**

L'extraction est la première étape pour une identification précise et une analyse ultérieure des HAP atmosphériques dans l'environnement. Le transfert de masse dans le processus d'extraction peut être étendu jusqu'à une certaine limite au-delà de laquelle une extraction ou un enrichissement supplémentaire de l'extractant par le soluté n'est pas possible. Cela dépend du coefficient de partage ou de distribution qui peut être défini comme le rapport de la concentration d'un analyte dans la partie résiduelle de la matrice à celle dans l'extractant à l'équilibre et prédit le comportement de l'analyte entre l'air et la matrice (McLachlan, 1999 ; Meylan et Howard, 2005).

Dans le tableau 1, sont regroupées les différentes méthodes d'extraction des HAP.

Les méthodes d'extraction conventionnelles comme l'extraction Soxhlet et l'ultrasonication sont les méthodes courantes de choix ; tandis que des méthodes d'extraction alternatives telles que PLE/ASE, MAE, l'extraction utilisant des fluides supercritiques et sous-critiques (extraction à l'eau chaude sous pression) et l'extraction par solvant assistée par membrane (MASE) sont également utilisées qui impliquent différents solvants organiques pour un meilleur rendement d'extraction (Barreca et al., 2014). La technique d'extraction en phase solide (SPE) est principalement utilisée pour le nettoyage des extraits. Des techniques d'extraction modifiées avec une consommation faible ou nulle de solvant ont également été développées pour obtenir une efficacité d'extraction améliorée, notamment la microextraction en une seule goutte, la microextraction en phase solide à fibres froides, le MSPD, la microextraction à base de SUPRAS et la méthode d'extraction QuEChERS (Szulejko *et al.*, 2014).

**Tableau 1:** Méthode d'extraction avec des solvants étape de purification et technique pour l'évaluation des HAP (szulejko et al., 2004; balampanis *et al.*, 2017).

Technique d'extraction	Solvants	Processus de purification/nettoyage	Détection/Analyse
Agitation mécanique	Hexane, acétone, toluène, t-butanol, 2-propanol.	Chromatographie sur colonne de gel de silice ou d'alumine	HPLC-UV, HPLC-FLD, GCMS
Extraction Soxhlet	DCM, hexane, toluène, hexane:acétone (1:1), éther diéthylique, cyclohexane, acétone.	Gel de silice, chromatographie sur colonne d'alumine ou extraction en phase solide, extraction liquide-liquide avec du DMSO ou du DMF et de l'eau	HPLC-UV, GC-MS, GC-FID, HPLC-fluorescence.
Sonication Cyclohexane	cyclohexane DCM, hexane	Chromatographie en couche mince sur gel de silice, extraction liquide-liquide avec DMF et eau, colonnes de chromatographie sur gel de silice ou alumine.	GC-FID ou GC-MS, fluorescence HPLC
ASE/PFE	DCM, hexane, acétone, toluène.	Chromatographie sur colonne de gel de silice ou d'alumine.	HPLC-fluorescence, GCMS, GC-MS/MS
PHWE/SWE	Eau chaude sous pression	Chromatographie sur colonne de gel de silice ou d'alumine	HPLC-UV, GC-ECD, GCMS
SFE	Fluides supercritiques SFE (ex. CO <sub>2</sub> à l'état supercritique)	Chromatographie par perméation de gel, nettoyage sur colonne Florisil.	HPLC-MS
SPE	Hexane, méthanol, acétate d'éthyle, alcool isopropylique, chlorure de méthylène	Cartouche d'extraction en phase solide	HPLC-MS, GC-MS
MASE	Cyclohexane, méthanol, acétate d'éthyle, DCM, éther diisopropylique	Nettoyage non requis.	GC-ECD, GC-MS
MAE	Hexane, acétonitrile, acétone, hexane:acétone	Chromatographie de perméation de gel, cartouche d'extraction en phase solide	HPLC-MS, GC-MS

En plus des solvants organiques conventionnels, d'autres agents d'extraction, notamment les microémulsions, les biosurfactants, les cyclodextrines, l'huile végétale ou l'eau, facilitent également l'élimination des HAP jusqu'à 47 % (Lau et al., 2014 ; Lawal, 2017).

## 6. Répartition géographique de *Xanthoria paretina*

La répartition de *Xanthoria paretina* est quasi cosmopolite : on la trouve dans le nord-ouest de l'Europe, en Afrique en Asie, en Australie et en Amérique du Nord ( de Indiana à la Californie, Québec, Nouveau Brunswick, Nouvelle Ecosse, Labrador, St-Pierre et Miquelon). La distribution de

ce lichen n'est pas cantonnée au littoral , on le trouve en abondance à l'intérieure des terres . *Xanthoria parietina* est une espèce très commune sur les troncs et branches des arbres feuillus ..Elle affectionne également rochers et substrats minéraux artificiels ( murs , béton , , briques , tuiles ... ) Sa présence en abondance traduit , en générale , une atmosphère humide et azotée , d'où son utilisation en tant qu'indicateur de qualité d'air dégradée ( Marsy, 2015)

**Conclusion**

L'utilisation des organismes vivants dans la surveillance de la qualité de l'air (Biomonitoring), constitue aujourd'hui un domaine de recherche très ambitieux (Benard et al., 2004). Cette méthode a l'avantage d'être rapide et moins coûteuse par rapport aux méthodes physico-chimiques. Elle permet aussi d'estimer les effets cumulés dans le temps et la synergie entre les polluants (Chakhparonian, 1995). Les lichens sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques aussi bien gazeux que particulaires. Le lichen choisi pour ce travail est *Xanthoria parietina*, qui est un lichen foliacé, assez abondant dans la région d'étude (Rahali, 2003), cette espèce appartient à la classe des ascolichens, ordre des cyclocarpales et famille de caloplacacées (Ozenda et Clauzade, 1970). Son indice de toxicotolérance est de 07, qui lui qualifié comme une espèce assez tolérante à la pollution atmosphérique (Kirchbaum et Wirth, 1997).

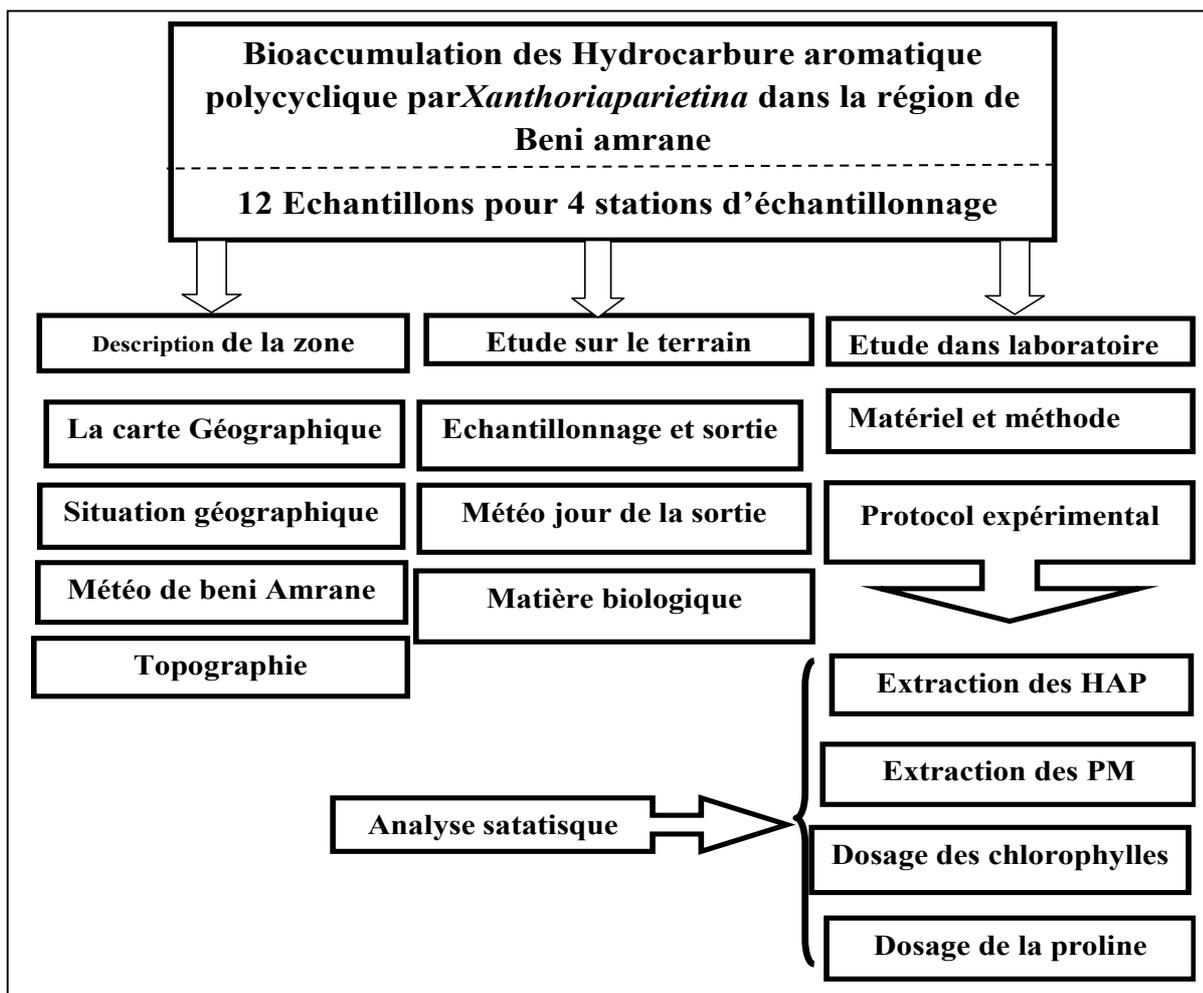
# **Chapitre II :**

## **Matériel et méthodes**

**Introduction**

La thématique que nous avons abordée vise à étudier les métabolites des lichens. Dans ce travail nous consistons à analyser les hydrocarbure Aromatique Polycyclique (HAP) Atmosphérique bio accumuler dans les lichen sur l'espèce *Xanthoria parietina* et leur influence sur leur physiologie ( chlorophylle , proline ). Ce lichen a été récolté an niveau de la zone de Beni Amrane.

En vue atteindre l'objectif de la présente étude , nous avons adopté un plan de travail assez cohérent qui est représenté par le schéma de la figure 6.



**Figure 6 :** Schéma récapitulant le chapitre matériale et méthodes

**1. Description de la zone d'étude**

Béni Amrane est une commune algérienne de la wilaya de Boumerdès dépendant de la daïra de Thénia, depuis 1985. Elle a accédé au rang de commune durant l'époque coloniale et a appartenu jusqu'en 1975 au département devenu wilaya de Tizi Ouzou, puis jusqu'en 1984 à la wilaya de Bouira.

### 1.1. Situation Géographique

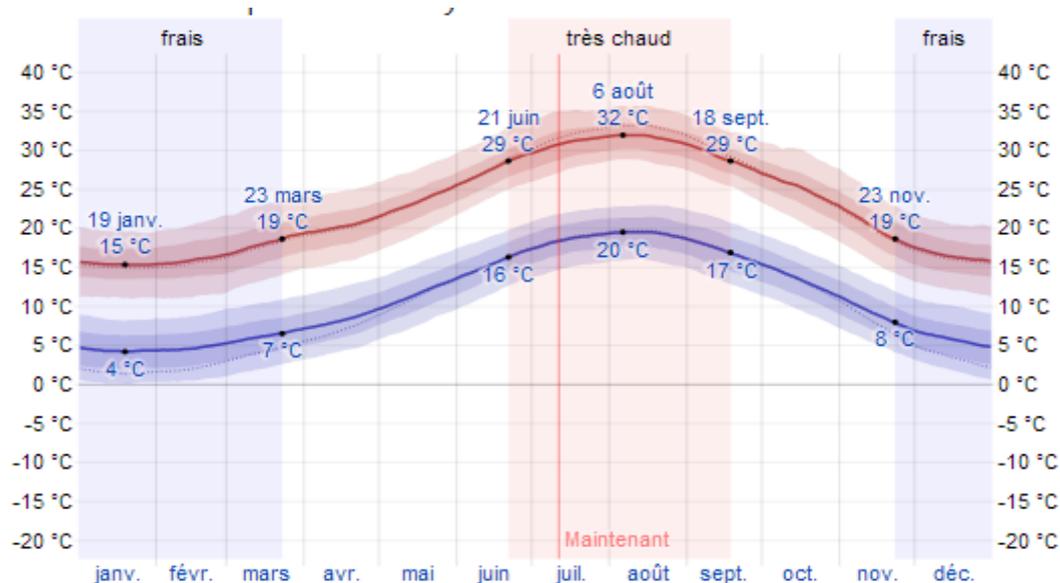
Beni Amrane se trouve à mi-chemin d'Alger, de Tizi Ouzou et de Bouira, à 60 km de distance. Elle est traversée par l'oued Isser, la RN5 et la voie ferrée qui dessert les principales villes de l'Est : Bouira, Béjaïa, Sétif, Constantine, Batna...etc.

Communes limitrophes de Béni Amrane Tidjelabine Thénia, Souk El Had Issers Bouzegza Keddara Ammal Chabet el Aneur.

### 1.2. Climat de Beni Amrane

#### 1.2.1. Température

Beni Amrane, les étés sont court, très chaud, humide, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont long, frisquet, précipitation et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 4 °C à 32 °C et est rarement inférieure à 0 °C ou supérieure à 36 °C. En figure 7



**Figure 7 :** Températures moyennes mensuelles des valeurs maximales (ligne rouge) et minimales (ligne bleue), avec bandes du 25e au 75e percentile et du 10e au 90e percentile. Les fines lignes pointillées sont les températures moyennes perçues correspondantes (Source : fr.weatherspark.com).

#### 1.2.2. Vent

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire étendu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un emplacement donné dépend de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que les moyennes horaires. La vitesse horaire moyenne du vent à Beni Amrane connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de année dure 5,6 mois, du 29 octobre au 16 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 13,2 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de la ;année est le 28 décembre, avec une vitesse moyenne du vent de 15,1 kilomètres par heure. La période la plus calme de la année dure 6,4 mois, du 16 avril au 29 octobre. Le jour le plus calme de année est le 9 juin, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 11,3 kilomètres par heure. (fr.weatherspark.com).

### 1.2.3. Humidité

Nous estimons le niveau de confort selon; humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration; évaporer de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de; organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. (fr.weatherspark.com).

### 1.2.4. Précipitation

Le jour de précipitation est un jour au cours duquel on observe une accumulation d'eau ou mesurée en eau d'au moins 1 millimètre. La probabilité de jours de précipitation à Beni Amrane varie au cours de l'année.

La saison connaissant le plus de précipitation dure 8,1 mois, du 15 septembre au 19 mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 15 %. La probabilité de précipitation culmine à 28 % le 19 novembre.

La saison la plus sèche dure 3,9 mois, du 19 mai au 15 septembre. La probabilité de précipitation la plus basse est 2 % le 18 juillet.

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la pluie seulement, avec une probabilité culminant à 28 % le 19 novembre. (fr.weatherspark.com).

### 1.3. Topographie

Dans ce rapport, les coordonnées géographiques pour Beni Amrane sont 36,668° de latitude, 3,591° de longitude et 129 m d'altitude.

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Beni Amrane présente des variations très importantes de l'altitude, avec une variation de l'altitude de 488 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 167 mètres. Dans les 16 kilomètres,

variations très importantes de l'altitude (1 005 mètres). Dans les 80 kilomètres, présente également des variations extrêmes de l'altitude (2 307 mètres).

La région dans un rayon de 3 kilomètres de Beni Amrane est couverte par des terres cultivées (50 %), des arbres (20 %), des pâturages (17 %) et des buissons (12 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des terres cultivées (58 %) et des pâturages (13 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par de l'eau (37 %) et des terres cultivées (34 %).. (fr.weatherspark.com).

**2. Travail du terrain**

Notre étude sur le terrain, est préparée en trois étapes :

- la première, consiste à l'emplacement des stations d'échantillonnage entre la zone urbaine et la zone rurale de Beni Amrane et le choix du matériel biologique (*Xanthoria parietina*).
- la deuxième étape, consiste à la caractérisation de la météorologie le jour de la sortie.
- la troisième, concerne la sortie sur le terrain et l'échantillonnage.

**2.1. Échantillonnages et sortie sur le terrain**

Notre déplacement sur les sites d'échantillonnage est effectué le 22 juin 2021 à huit heures du matin pour collecter des échantillons de *Xanthoria parietina* sur différents substrats qui sont les troncs d'arbres de différentes espèces et dans différents sites dans la ville de Beni Amrane, chargés du matériel de terrain nécessaire, qui est représenté par un GPS, la glacière, couteau et sacs en papier.

Dans le tableau 2, nous avons donné les caractéristiques des sites de prélèvement, leurs points cardinaux et même le nom de l'arbre à partir duquel l'échantillon a été prélevé.

**Tableau 2** : Caractéristiques des points d'échantillonnage

Station	Enchantions	Espèce d'arbre	Longitude	Latitude
<b>Bouhinas</b>	01	<i>Citrus limon</i>	36°40'05.90''N	3°35'49.67''E
	02	<i>Ficus carica</i>	36°40'04.11''N	3°35'53.25''E
	03	<i>Olea europia</i>	36°40'01.48''N	3°35'46.90 ''E
<b>Tozaline</b>	04	<i>Pestacialentiscus</i>	36°40'17.77 ''N	3°35'55.51''E
	05	<i>Ficus carica</i>	36°40'15.24''N	3°35'51.88 ''E
	06	<i>Pestacialentiscus</i>	36°40 '13.04''N	3°35'54.54 ''E
<b>Barrage</b>	07	<i>Pestacialentiscus</i>	36°40'16.21''N	3°36'21.15''E
	08	<i>Morus alba</i>	36°40'19.42''N	3°36'20.01''E
	09	<i>Olea europia</i>	36°40'06.08''N	3°36'26.73''E
<b>Centre Ville</b>	10	<i>Ficus carica</i>	36°40'04.28''N	3°35'28.55''E
	11	<i>Araucaria heterophylla</i>	36°40'03.25''N	3°35'28.44''E
	12	<i>Morus alba</i>	36°40'09.20''N	3°35'22.94''E

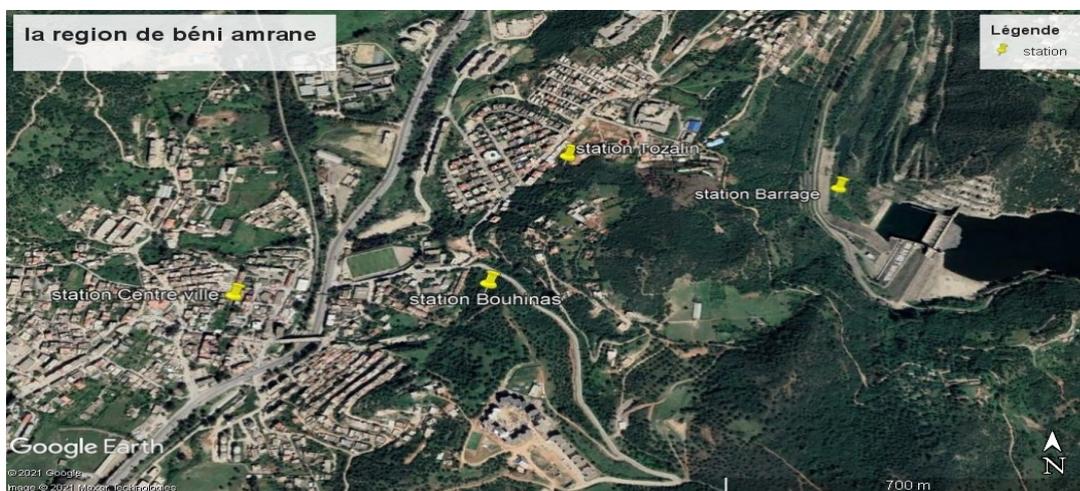
Nous avons échantillonné environ 10 g de matière végétale fraîche (figure 8), qui sont placés dans les sacs en papier et qui sont conservés dans une glacière pendant la durée

transport au laboratoire. Avec tous les obstacles que nous avons rencontrés, nous avons essayé autant que possible d'obtenir des échantillons représentatifs afin d'obtenir des résultats fiables.

## 2.2. Données météorologiques, le jour de la sortie

Au 22 juin, la température à Béni Amrane varie généralement de 17 °C à 28 °C et est rarement inférieure à 13 °C ou supérieure à 32 °C.

En moyenne, il y a une probabilité de 4 % que la précipitation totale sera supérieure à 1,00 millimètre à Béni Amrane tout au long de la journée le 22 juin, la totalité certainement composée de pluie. . (fr.weatherspark.com).



**Figure8:** Localisation des stations d'échantillonnage au niveau de Béni Amrane (Google Earth 2021).

La vitesse horaire moyenne du vent à Béni Amrane le 22 juin varie au cours de la journée, avec une moyenne quotidienne de 11,5 kilomètres par heure.

## 2.4. Matériel biologique

Le matériel végétal utilisé dans les différentes expérimentations de ce travail provient de la zone de Beni Amrane (Boumèrdes). L'espèce échantillonnée est *Xanthoria parietina*. Elle a été choisie pour de nombreuses raisons. D'abord, c'est une espèce très abondante et assez résistante à la pollution atmosphérique. La récolte de *Xanthoria parietina* est très facile. Elle peut se faire en toute saison et ne présente aucune difficulté particulière. En plus, elle est très peu étudiée sur le plan métabolique et bioactif ; d'autant plus que des travaux préliminaires sur cette espèce ont déjà révélé un pouvoir antibactérien avéré.

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

La classification taxonomique de *Xanthoria parietina*, est présentée dans la figure 9.



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

**Figure9 :** Aspect morphologique du *Xanthoria parietina*

### 3. Travail au laboratoire

Les différents dosages effectués (extraction des HAP et poussière, dosage des paramètres physiologiques, chlorophylles et proline) ont été réalisés au niveau du laboratoire de l'écologie et l'environnement, département biologie, université de Boudoumerdes.

#### 3.1. Réactifs

dans le tableau 3, sont affectés les réactifs, avec leurs quantités, utilisés pour chaque dosage des paramètres choisis dans notre étude.

**Tableau. 3:** Réactifs utilisés dans chaque extraction et précises la quantité des réactifs dans chaque échantillon.

Extraction / dosage	Réactif	Quantité
Les HAPs	Hexane	60 ml
	Acétone	60 ml
Poussière	Chloroforme	20 ml
La chlorophylle	Acétone	80 ml
	Carbonate de Calcium	Penser
	Eau distillée	20 ml
La proline	Méthanol	3 ml
	Acide Acétique	30 ml
	Acide ortho phosphorique	2.5 ml
	Ninhydrine	2.5 mg
	Toluène	5 ml

#### 3.2. Matériels utilisés

Le matériel utilisé sur le terrain (sachets en papier, Glacier, coton, marqueur, GPS), et dans le laboratoire (La Balance, l'étuve, papier à filtre, les verreries dans différentes tailles, tube à essais, tube à épinoche, fiole de jagerbêcher, l'appareil de Soxhlet, Les cartouches en cellulose, spectrophotomètre).

**3.2.1. Global Positioning system (GPS)**

Signifiant Global Positioning System. Système de géolocalisation par satellite. . Il permet de déterminer les coordonnées géographiques de n'importe quel point situé à la surface du globe. Sa précision peut atteindre 1 mètre. Le GPS s'utilise en association avec une carte pour se repérer et se positionner.

**3.2.2. Appareil de Soxhet**

L'extracteur soxhlet est un ingénieux dispositif en verre permettant l'extraction d'une substance ,Il est principalement utilisé dans la préparation d'échantillons avant analyse, dans la détermination de matières grasses dans les eaux, de détergents. Les cartouches d'extraction permettent d'extraire des particules spécifiques à une substance solide à l'aide d'un solvant. Les cartouches sont neutres et dégraissées c'est pourquoi elles disposent d'une bonne résistance mécanique et d'une excellente capacité d'absorption.

**3.2.2. Spectrophotomètre**

Le principe de la spectrophotométrie est simple : l'appareil réalise une mesure de l'intensité de la lumière qu'il reçoit, une fois celle-ci passée à travers un récipient transparent (cuvette dont la matière doit être adaptée à la longueur d'onde), contenant la solution à étudier .

**4. Extraction des HAP par la méthode de Soxhet**

L'extraction par un solvant est une technique sélective qui repose sur la solubilité des espèces à extraire dans un solvant donné. Le solvant doit alors être non miscible à l'eau, dissoudre facilement, l'espèce à extraire et être liquide à la température de l'extraction.

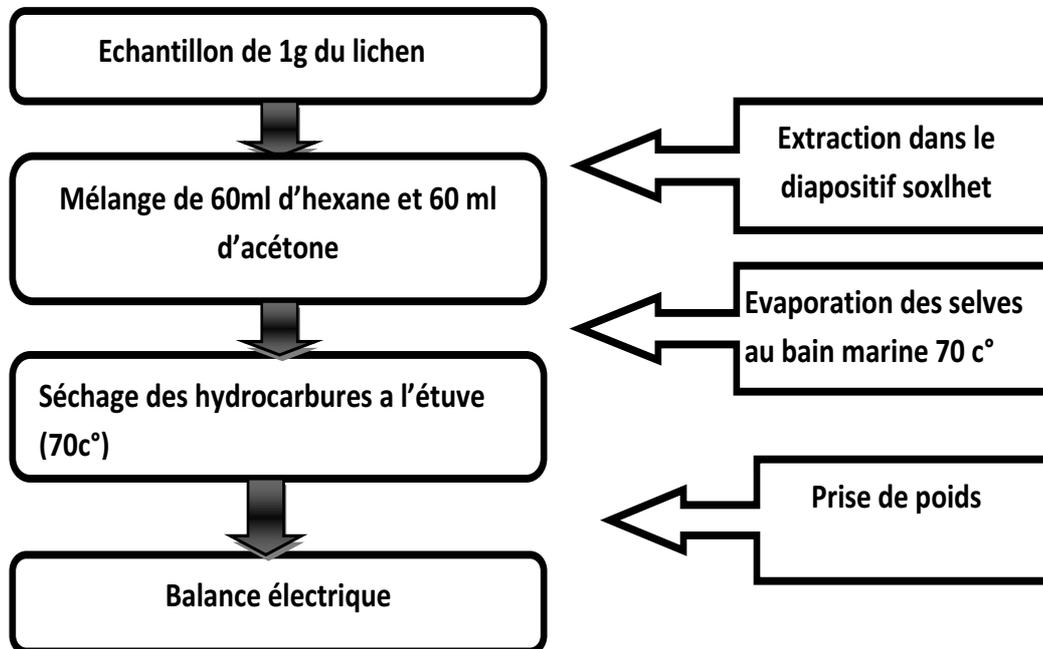
**4.1. Protocol d'extraction des hydrocarbure aromatique polycyclique**

Soxhlet est principalement utilisé dans la préparation d'échantillons avant analyse, dans la détermination de matières grasses dans les échantillon.

On a pesé 1 g de chaque échantillon puis mettredans les cartouche en cellulose préalablement mouillée et nettoyée avec l'acétone. L'extrait de la matière fraîche est ensuite ajouté à un mélange de 60 ml d'acétone et 60 ml d'hexane pendant 2 à 3 heure .

Aprée 3 h d'extraction ,le cantenu de creuset de Soxlhet est versé dans les tubes à assai qui sont passés au bain marie à 70 C° pour l'évaporation des solvant puis ils sont mis à l'étuve pour le séchage des hydrocarbure aromatique polycyclique. Nous avons passé ensuite à l'élimination de l'humidité dans les extraits et nous avons procédé aux pesés par la balance de précision jusqu'au point constant.

La procédure expérimentale en figure 10, fait ressortir toutes les étapes nécessaires à l'extraction des hydrocarbures par Soxhlet.



**Figure10** : Protocole expérimental pour l'extraction des HAPs par Soxhlet

#### 4.2. Extraction des poussières et des cires :

L'élimination de poussière sur l'échantillon est dû au fait que la source de la plupart des hydrocarbures aromatiques polycycliques atmosphériques provient des matières en suspension et des poussières, et la quantité de poussières indique plus au moins que l'échantillon est exposé à une pollution organique.

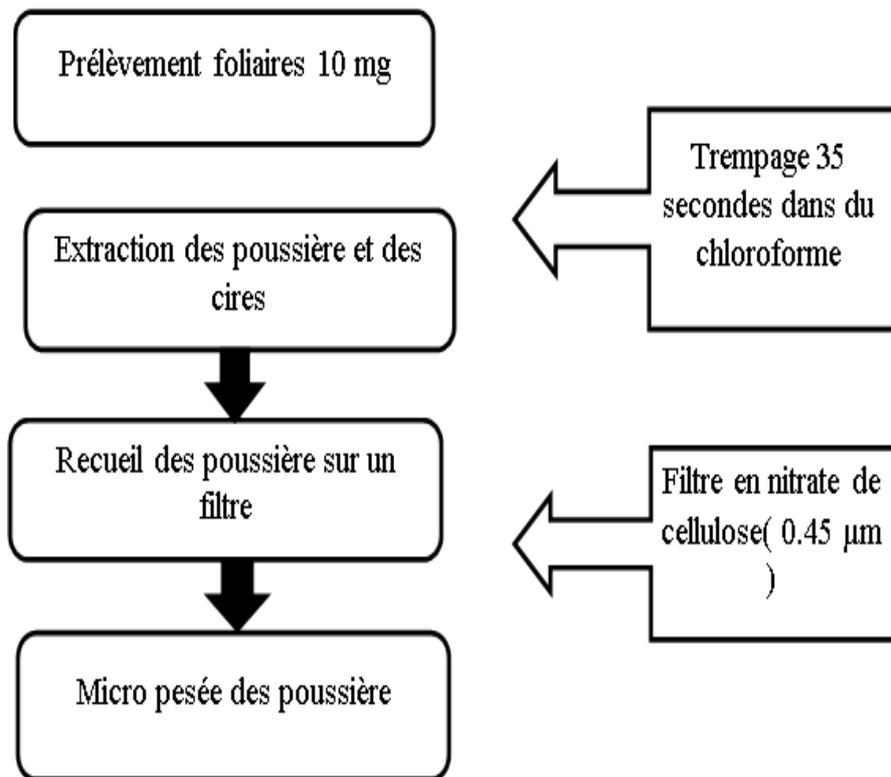
##### 4.2.1. Protocole d'extraction des poussières et des cires

1 g de matière fraîche a été pesé et ensuite déposé sur un papier filtre pour l'extraction, en utilisant un entonnoir et un bécher.

20 ml de chloroforme ont été ensuite versés pour chaque échantillon lichenique.

Après 35 minutes le séchage des échantillons à l'air libre sur le papier filtre, échantillons repassés dans la balance de précision pour la détermination du poids des filtrats.

Le schéma en figure 11, résume le protocole expérimental d'extraction de poussière et de cires.



**Figure 11:** protocole expérimentale d'extraction des poussière et des cires.

### 4.3. Dosage de la chlorophylle

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

#### 4.3.1. Protocole d'extraction de chlorophylle

Nous avons pris 0.45 g de chaque échantillon, pour lequel nous avons ajouté 10 ml d'acétone ( 20 ml à 80 % ) et un pincée de carbonate de calcium et nous les avons broyés dans un mortier.

Après broyage total, la solution est ensuite filtrée à l'aide d'un papier filtre et mise dans des tubes recouverts de papier aluminium , afin d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

Le dosage se fait par le prélèvement de 1ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre et le passage à la lecture.

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

Le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce à la formule de (Arnon, 1949).

$$\text{Chl.a} = 12.7 (\text{D.O663}) - 2.69 (\text{D.O645})$$

$$\text{Chl.b} = 22.9 (\text{D.O645}) - 4.68 (\text{D.O663})$$

$\text{Chl.a} + \text{Chl.b} = 8.02 (\text{D.O663}) + 20.2(\text{D.O645})$  (Brown et White Head, 1986)

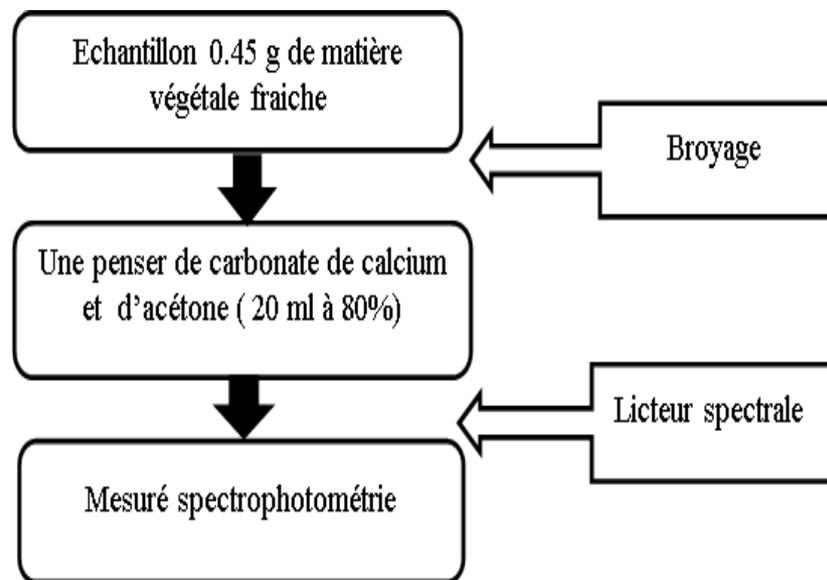
DO: Densités Optiques (valeur donné par le spectrophotomètre aux longueurs d'ondes (645nm et 663nm).

Chl.a : chlorophylle a.

Chl.b : chlorophylle b.

Chl.ab : chlorophylle a et b.

Dans le schéma en figure 12, nous avons donné le résumé du protocole expérimental de dosage de chlorophylle à partir d'échantillon de 0.45 g de matière végétale fraîche



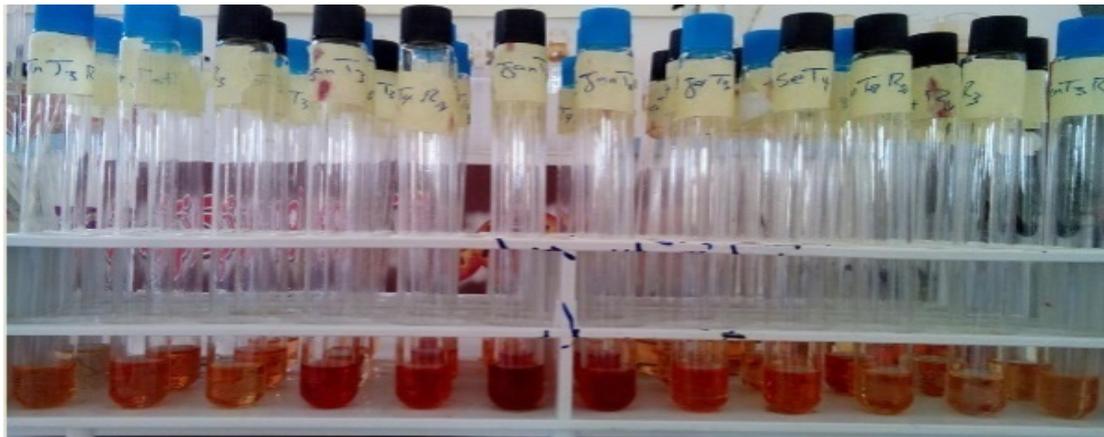
**Figure12** : protocole expérimentale de dosage de chlorophylle.

#### 4.4. Dosage de la proline

Nous avons pesé 100 mg de matière végétale fraîche, après les avoir coupés en petits morceaux. Nous les avons introduits dans un tube à essai, auquel nous avons ajouté 3ml de méthanol à 80% et nous les avons recouverts de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool.L'ensemble est chauffé au bain-marie à 85°C pendant 60 minutes.

Après refroidissement des tubes à essai, 1ml d'extrait est prélevé, auquel on ajoute 1ml d'un mélange contenant (12 ml d'eau distillée, 30 ml d'acide acétique, 8 ml d'acide ortho phosphorique et 2.5mg de ninhydrine (C<sub>9</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>).

Les solutions sont portées à ébullition pendant 30 minutes.La photo en figure 13, montre les différentes couleurs obtenues après cette étape d'ébullition.



**Figure13** Extraction de la proline après ébullition pendant 30 minutes .

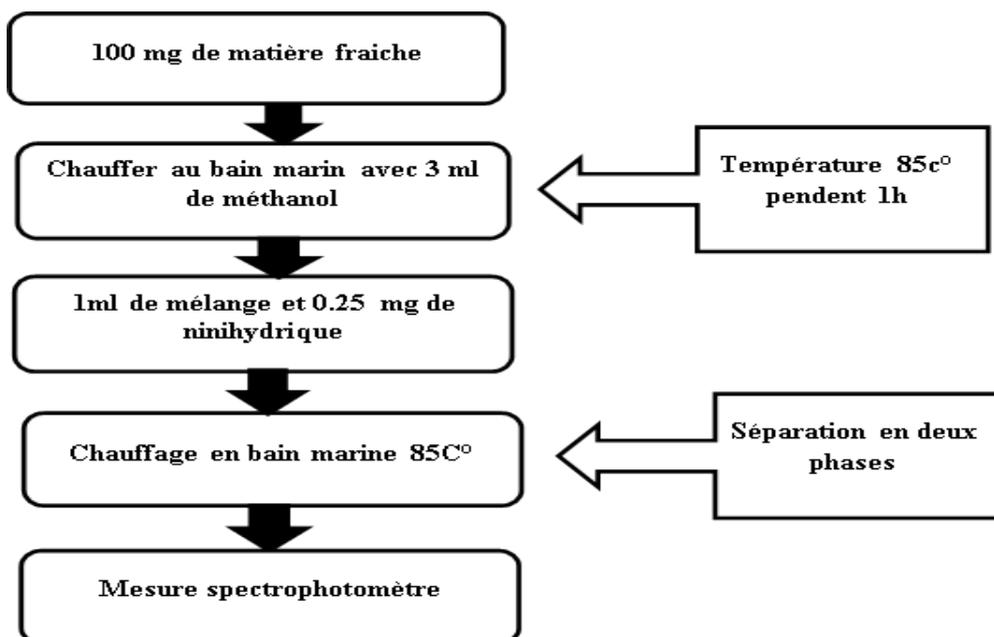
Après refroidissement, nous avons ajouté 5 ml de toluène à la solution et après agitation, deux phases sont séparées :

- La phase inférieure sans proline reste transparente ;
- La phase supérieure colorée en rouge qui contient la proline. Cette phase est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction d'anhydride ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Enfin, cette dernière est passée au spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm. L'étalonnage de l'appareil se fait par le mélange (acide acétique, eau distillée, acide ortho phosphorique et ninhydrine) et les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe d'étalonnage

La courbe est déterminée au laboratoire à partir des concentrations connues de proline.

Le schéma en figure 14, résume et explique le protocole expérimental pour le dosage de la proline à partir de 100 mg de matière fraîche.



**Figure14:** Protocole expérimental pour le dosage de la proline

**5. Analyses statistique**

Pour effectuer l'analyse statistique descriptive des résultats, nous avons utilisé le logiciel Excel : les paramètres de position et de dispersion, Les tests statistiques qui sont utilisés pour valider les résultats obtenus ont été traités statistiquement avec les logiciels : R version (4.0.3) Ce logiciel est utilisé pour le traitement de données et traces (box plot, histogramme) et des composantes principales d'analyse statistique (ACP)

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié 12 échantillons de *Xanthoria parietina*. Ils ont été collectés dans 4 stations différentes de la région de Beni-Amrane où nous nous sommes déplacés sur la région, ont collecté et conservé les échantillons de la manière nécessaire et contrôlé toutes les données ci-dessus.

Cela concerne la partie terrain, et concerne la partie laboratoire nous avons réalisé quatre expériences sur l'extraction des HAP, Extraction de poussière, dosage des paramètres physiologiques (chlorophylle et la proline) sur les échantillons lichéniques, pour connaître la quantité et la qualité des hydrocarbures aromatiques polycycliques d'origine trafic routier dans l'atmosphère de la région de Beni-Amrane, car les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont accumulés dans les lichens qui sont considérés comme des bio-indicateurs de la pollution atmosphérique.

# **Chapitre III :**

## **Résultats et discussion**

### Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter les résultats des travaux réalisés. Ensuite, c'est de donner une interprétation à ces résultats.

Nous allons commencer par les résultats obtenus concernant l'accumulation des HAP. Puis nous allons passer à ceux obtenus concernant le dépôt des poussières. Après, nous allons présenter les résultats des paramètres physiologiques de chlorophylle et de la proline. Enfin, nous allons montrer la corrélation entre tous les paramètres.

### 1. Distribution générale des données

Avant d'analyser les résultats de chaque paramètre séparément, nous avons opté pour les statistiques descriptives afin de décrire les différentes caractéristiques de nos données. Dans le tableau 4, nous avons exploré les données en considérant les paramètres statistiques de position pour résumer les informations, de chaque liste de données, en quatre paramètres : moyenne, médiane (Me), premier quartile (Q1) et troisième quartile (Q3).

Selon ces résultats, on peut constater que pour l'ensemble des paramètres de pollution et physiologiques, la médiane et la moyenne ont tendance à être les mêmes.

Ainsi pour les HAP, la moyenne ( $M=0,1811\mu\text{g}$ ) est proche de la médiane ( $Me=0,2063\mu\text{g/g}$ ). Aussi pour la chlorophylle a (Chlra), la moyenne ( $M=15,1377\mu\text{g}$ ) est proche de la médiane ( $Me=14,008\mu\text{g/g}$ ).

**Tableau 4 :** Paramètres de position calculés sur les données de l'étude

	HAP(ng/g)	Proline( $\mu\text{g/g}$ )	PM(mg/g)	Chlra( $\mu\text{g/g}$ )	Chlrb( $\mu\text{g/g}$ )	Chlrab( $\mu\text{g/g}$ )
M	0,1811	0,061	0,037	15,1377	21,066	36,999
Me	0,2063	0,028	0,0227	14,008	19,7865	39,95
Q1	0,1607	0,0115	0,01755	10,83375	13,7852	17,056
Q3	0,2273	0,092	0,0244	16,8	27,596	50,4892

Même les données de la chlorophylle b et la chlorophylle ab, ont montré une certaine symétrie dans les valeurs du fait que  $M=21,066\mu\text{g/g}$  et  $Me=19,7865\mu\text{g/g}$  pour la première et  $M=36,999\mu\text{g/g}$  et  $Me=39,95\mu\text{g/g}$ .

Par contre les données sur la proline et les poussières montrent que la moyenne est plus élevée que la médiane, ce qui explique que la distribution des valeurs de ces paramètres est asymétrique.

Dans l'objectif de montrer la dispersion des mesures de chaque paramètre, nous avons calculé la variance (Var), l'écart-type (ET), l'étendue, le minimum (Min) et le maximum (Max).

Le tableau 5, présente la comparaison entre ces différents paramètres de dispersion.

D'abord à partir de l'étendue qui est la différence entre le Max et le Min, on a constaté les valeurs sont très dispersées entre elles et avec la moyenne surtout pour la chlorophylle ab ( $74,226\mu\text{g/g}$ ) et la proline ( $0,177\mu\text{g/g}$ ).

**Tableau5** : Paramètres de dispersion calculés sur les données de l'étude.

	HAP(ng/g)	Proline( $\mu\text{g/g}$ )	PM(mg/g)	Chlra( $\mu\text{g/g}$ )	Chlrb( $\mu\text{g/g}$ )	Chlrab( $\mu\text{g/g}$ )
Etendue	0,25949	0,177	0,2231	25,538	29,806	74,226
Var	0,00717131	0,00448239	0,0038205	62,683482	85,399279	505,79398
ET	0,08468357	0,06695063	0,0618107	7,9172901	9,2411730	22,489864
Min	0,02051	0,003	0,0099	5,432	9,609	3,566
Max	0,28	0,18	0,233	30,97	39,415	67,106

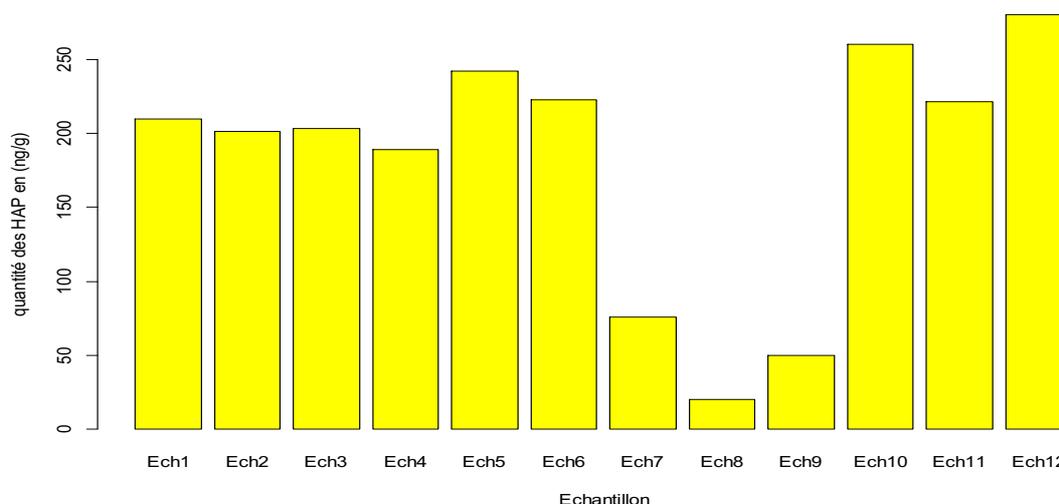
Puis, à partir de la variance et de l'écart-type, on peut confirmer la dispersion des valeurs de chaque polluants et de chaque paramètres physiologique.

## 2. Paramètre de pollution

À travers les expériences de cette étude, nous avons considéré la poussière (PM) et les HAP comme des paramètres de pollution. La présence d'une quantité de poussières (PM) considérée comme un indice de la présence des HAP, ce qui signifie que plus la quantité de poussière n'est pas élevée, plus la quantité de HAP est élevée.

### 2.1. Quantité des HAP accumulées dans *Xanthoria parietina*

La figure 15 illustre les résultats de l'accumulation spatiale des HAP chez *Xanthoria parietina*.



*Ech* : Echantillon

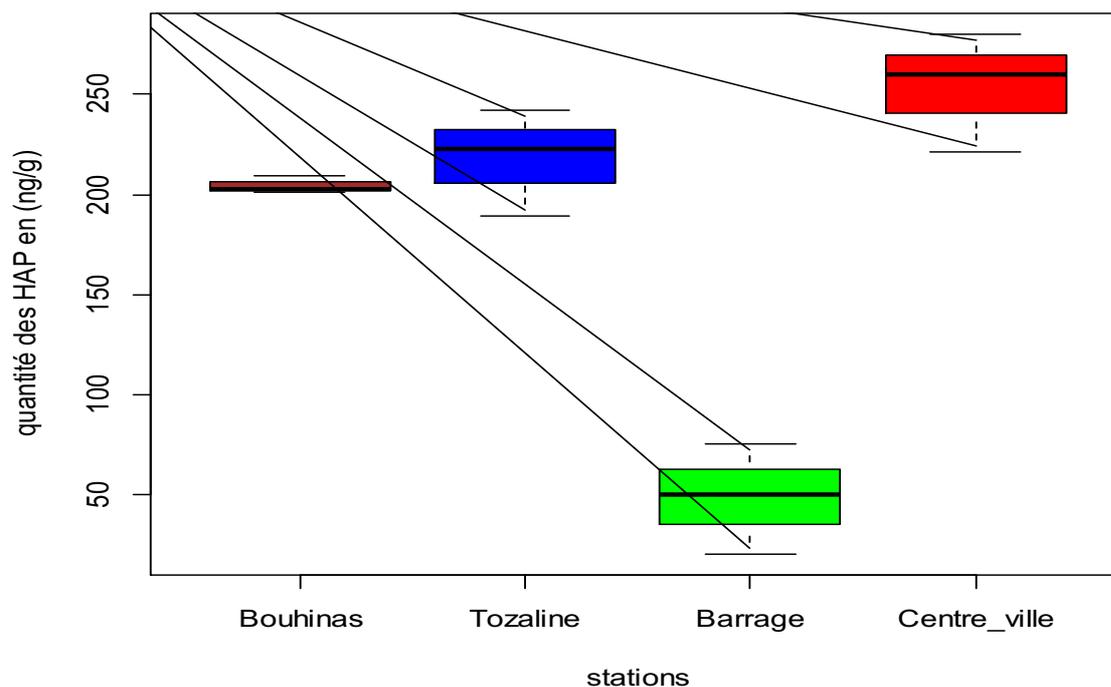
**Figure 15:** Quantité des HAPs accumulée dans les échantillons de *Xanthoria parietina*

D'après l'histogramme, nous remarquons qu'il existe une variation entre les différents prélèvements. Ainsi, il est clairement remarquable que Ech12 a la plus grande valeur du HAP de 250 (ng/g) et cette valeur est six fois supérieure à la valeur enregistrée à l'Ech 9 et qui est de 40(ng/g).

Comme, il est clairement observable que les échantillons 10 et 2, présentent la même concentration d'HAP et qui est de 230 ng/g. Cette valeur est 10 fois supérieure à celle de l'échantillon 8 qui représente la quantité la plus basse des hap de valeur estimé de 25 ng/g. L'échantillon 7 porte la valeur des HAPs accumulé estimé de 75 ng/g.

Pour les échantillons 1, 3, 4, 6, 11, ils ont des concentrations des HAP assez similaires entre eux, qui varient entre 180 et 220 ng/g.

Nous avons regroupé les échantillons des mêmes stations et nous avons réalisées box plot de figure16.



**Figure16** : Variation spatiale des HAPs accumulées dans *Xanthoria parietina* dans la région de Beni amrane.

D'après la boîte à moustaches, il est clair que la station de centre-ville et celle de Tozaline occupent la première place en terme quantité des HAPs avec les concentrations médianes qui sont successivement de l'ordre de 250 ng/g et 230 ng/g. Elles sont suivies de la station

Bohinas avec une valeur médiane estimée de 200 ng/g. Ces trois stations sont donc les plus polluées.

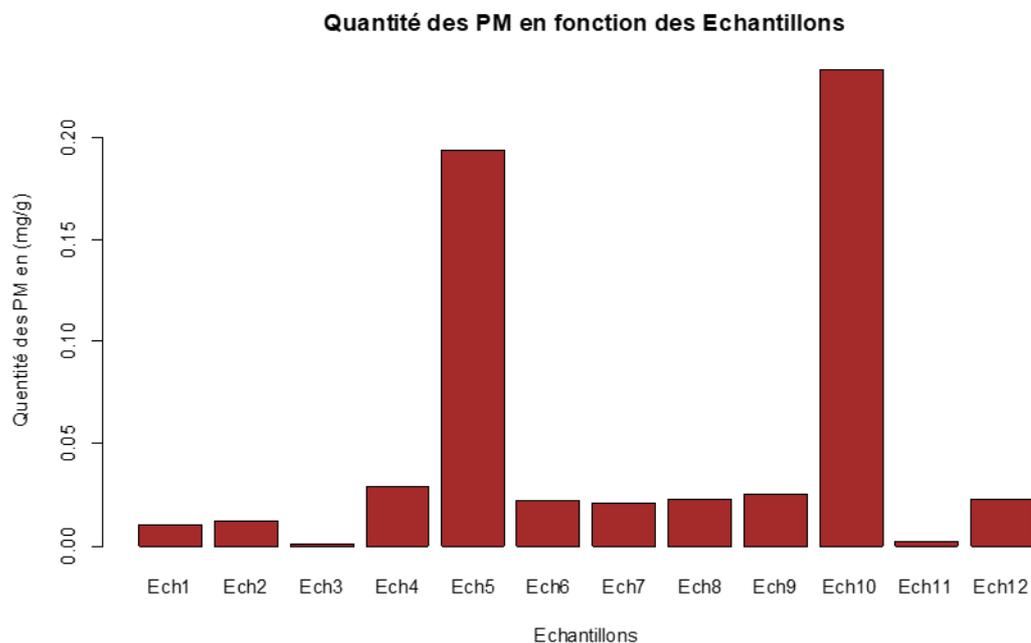
Il est clair aussi, selon le même graphe des boîtes à moustache que les valeurs de la stations Centre-ville sont les plus dispersées autour de la médiane. Par contre les concentrations des HAP dans la station de Bouhinas, sont les moins dispersées.

La station de Barrage représente la station la moins polluée avec une concentration médiane des HAPs de 40 ng/g.

## 2.2. Quantité des PM déposée sur les thalles de *Xanthia parietina*

Les lichens sont extrêmement sensibles, beaucoup plus semble-t-il que les autres végétaux, aux impuretés contenues dans l'atmosphère et en particulier aux fumées et aux poussières industrielles et domestiques, ce qui les élimine des grandes villes et de leur périphérie mais permet en revanche de localiser ces zones de pollution (Ozenda et Clauzade, 1970).

Dans l'histogramme de la figure 17 sont représentées les quantités des poussières déposées sur nos 12 échantillons prélevés. Nous constatons que l'échantillon 10 présente la valeur la plus élevée (de 0,25 mg/g), suivie par celle de l'échantillon 5 et qui est estimée à 0.20 mg/g.



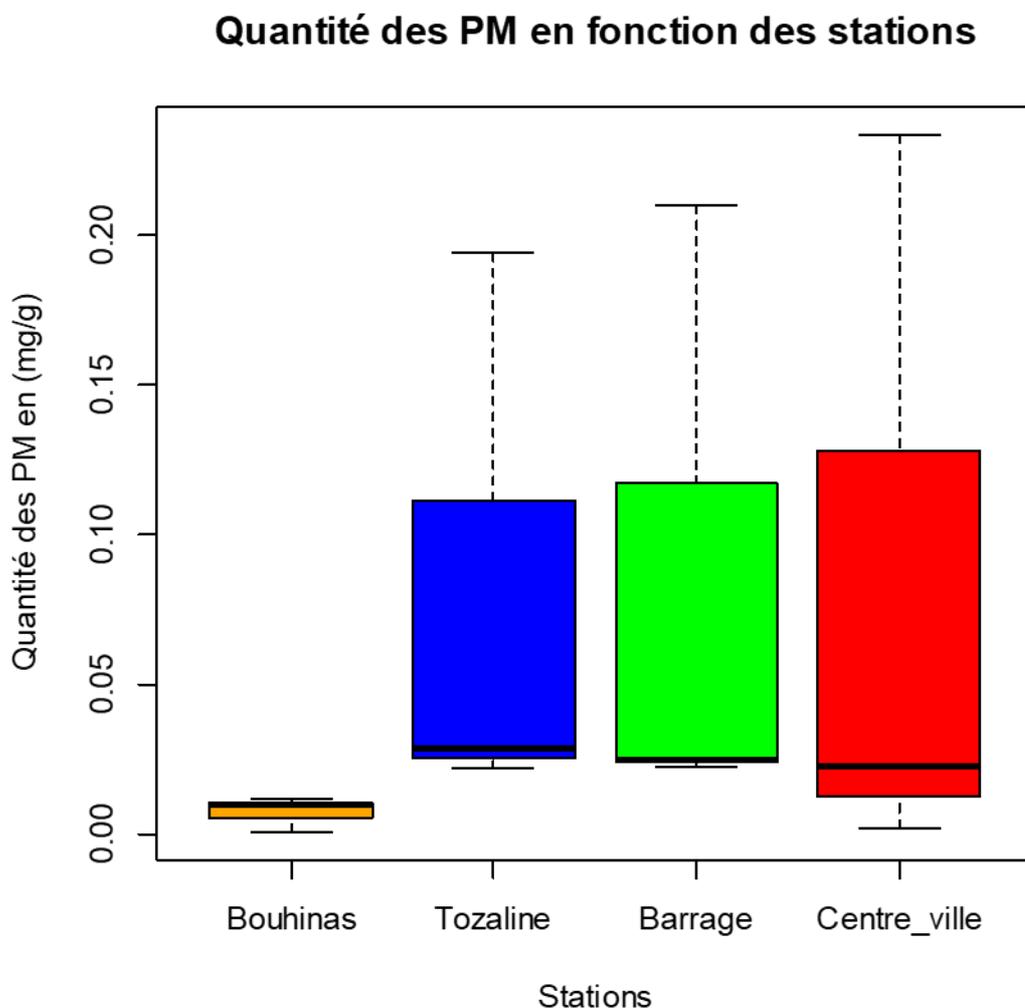
*Ech : Echantillon*

**Figure17:** Quantité des PM déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina*

Les échantillons 4, 6, 7, 8, 9 et 12 montrent des quantités des PM déposées, de plus au moins de même valeur. Cette valeur est estimée à 0.025 mg/g. Elle est deux fois supérieure à celle calculée sur les deux échantillons 1 et 2 et qui est de 0.0125 mg/g.

L'échantillon 3, montre la quantité la plus basse des PM déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina*. Elle est estimée à 0.001 mg/g.

Comme pour les concentrations des HAP, nous avons aussi regroupé les données obtenues concernant les quantités de poussières déposées sur nos échantillons, en quatre stations et nous avons tracé ainsi le graphique des boîtes à moustache de la figure 18.



**Figure 18 :** Variation spatiale des PM déposés sur les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région de Beni Amrane

D'après la figure, les quantités médianes les plus élevées ont été enregistrées dans les trois stations de Tozaline, de Barrage et de Centre-ville. Elles sont successivement estimées de l'ordre de 0.014 mg/g, 0.12 mg/g et 0.011 mg/g.

Concernant la station Bouhinas, elle est considérée la station qui porte la quantité médiane la moins élevée. Elle est estimée à 0.02 mg/g.

À partir du même graphe, nous pouvons remarquer la forte distribution des valeurs autour de la valeur médiane. Il n'y a que la série des valeurs de Bouhinas qui montrent des valeurs non dispersées.

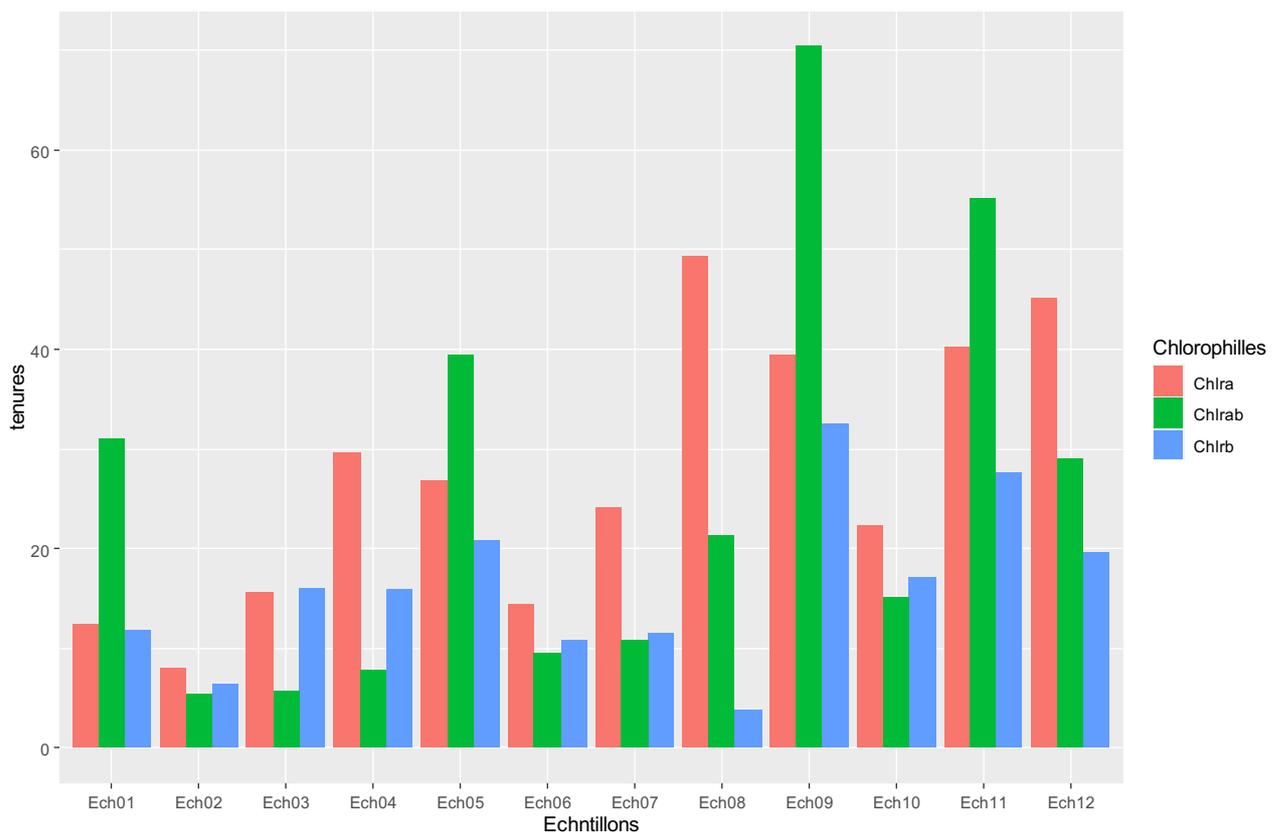
### 3. Paramètres physiologiques

dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats obtenus concernant les deux paramètres physiologiques choisies dans notre étude et qui sont les trois types de chlorophylle (a, b et ab) et la proline.

#### 3.1. Concentrations de la Chlorophylle dans *Xanthoria parietina* selon les prélèvements

La chlorophylle, ce pigment de photosynthèse dans les végétaux, son dosage donne une idée sur la santé des échantillons. Ainsi la chlorophylle est utilisée par plusieurs auteurs pour montrer l'effet de la pollution atmosphérique sur les lichens.

La Figure 19 représente les résultats obtenus concernant les effets des poussières et des HAP sur les teneurs moyennes en chlorophylles (a,b,ab) de lichens *Xanthoria Pareitina*.



**Figure 19:** Variation des teneurs en chlorophylle a, b,ab,( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des échantillons de prélèvement chez *Xanthoria parietina* dans la région de Beni Amrane (Juin 2021).

**3.1.1. Chlorophylle (a)**

Les teneurs en chlorophylle (a) varient en fonction des échantillons de prélèvement. Nous constatons que les taux de la chlorophylle (a) enregistrés au niveau des échantillons de référence sont stables et avoisinant, pour lesquels la valeur la plus élevée (59 $\mu\text{g/g}$ ) est représentée par l'échantillon 8, et la valeur la moins significative (5  $\mu\text{g/g}$ ) est trouvée au niveau de l'échantillon 2. Alors que la même valeur, estimée à 15 $\mu\text{g/g}$ , a été enregistrée dans chacun des échantillons (3 et 6). La valeur de 22  $\mu\text{g/g}$  est répétée dans chacun des deux échantillons (7 et 10).

Alors que des valeurs convergentes de (12 $\mu\text{g/g}$ , 30 $\mu\text{g/g}$ , 37 $\mu\text{g/g}$ , 49 $\mu\text{g/g}$ , 40 $\mu\text{g/g}$ , 45 $\mu\text{g/g}$ ) ont été enregistrées dans chacun des échantillons 1, 4, 5, 9, 11, 12. Dans l'échantillon 5 nous avons enregistré la valeur de 24 $\mu\text{g/g}$ .

**3.1.2. Chlorophylle (b)**

Nous constatons que les taux de la chlorophylle (b) enregistrés au niveau des référents sites de prélèvement sont stables et avoisinant, pour lesquels la valeur la plus élevée (32 $\mu\text{g/g}$ ) est représentée par l'échantillon 9, et la valeur la moins significative (3 $\mu\text{g/g}$ ) est trouvée au niveau de l'échantillon 8. Alors que la même valeur, estimée à 16 $\mu\text{g/g}$ , a été enregistrée dans chacun des échantillons (3 et 4).

Des valeurs convergentes de (5 $\mu\text{g/g}$ , 21 $\mu\text{g/g}$ , 18 $\mu\text{g/g}$ , 28 $\mu\text{g/g}$ , 19 $\mu\text{g/g}$ ) ont été enregistrées successivement dans chacun des échantillons 2, 5, 10, 11, 12. Dans les échantillons 1, 6 et 7 des valeurs presque similaires ont été enregistrées, elles sont de 11 et 13  $\mu\text{g/g}$ .

**3.1.3. Chlorophylle (ab)**

La teneur en chlorophylles ab, la plus élevée (70 $\mu\text{g/g}$ ) est représentée par l'échantillon 9, et la valeur la moins significative (6 $\mu\text{g/g}$ ) est trouvée au niveau de l'échantillon 2. Alors que la même valeur, estimée à 10 $\mu\text{g/g}$ , a été enregistrée dans chacun des échantillons (6 et 7). Nous avons trouvé la valeur 50 $\mu\text{g/g}$  dans chacun des échantillons (3 et 4).

Alors que des valeurs convergentes de (32 $\mu\text{g/g}$ , 39 $\mu\text{g/g}$ , 21 $\mu\text{g/g}$ ) ont été enregistrées dans chacun des échantillons 1, 2, 8. Dans les échantillons 10, 11 et 12, nous avons trouvé une valeur de chlorophylle qui varient entre 15 à 45 $\mu\text{g/g}$ .

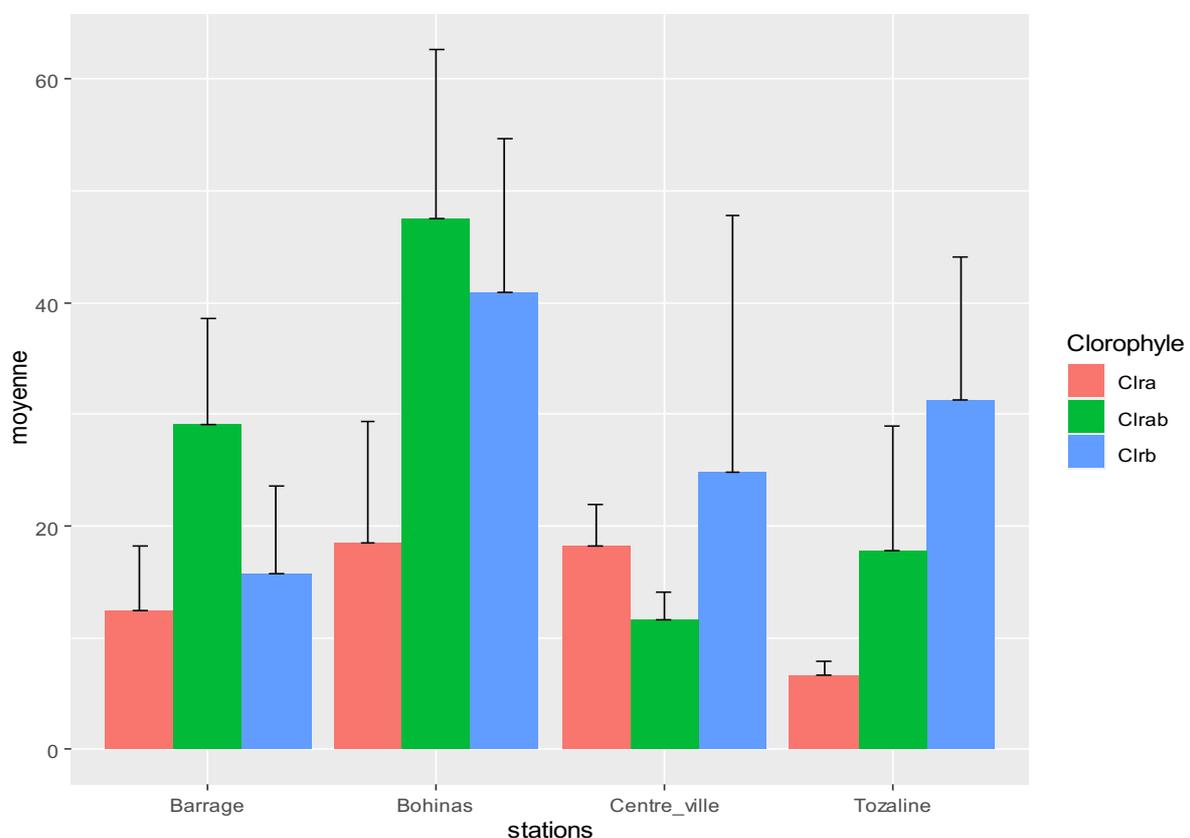
**3.2. Concentrations de la Chlorophylle dans *Xanthoria parietina* selon les stations**

Nous avons classées nos valeurs de la chlorophylle selon les quatre stations d'échantillonnage et nous avons tracé l'histogramme en figure 20 avec les moyennes et les écart-type calculés.

Nous remarquons, selon le graphe, que dans la station Bohinas, la chlorophylle (ab) représente la valeur la plus grande 49  $\mu\text{g}$ , puis la chlorophylle (b) et la chlorophylle (a) avec une moyenne d'environ 19  $\mu\text{g}$ .

Dans la station Barrage, la valeur de la chlorophylle (ab) est de 29  $\mu\text{g/g}$  est considérée comme la plus grande élevée, suivie de la valeur de la chlorophylle (b), qui est de 15  $\mu\text{g}$ , puis celle de la chlorophylle a avec une 13  $\mu\text{g}$ .

Dans la station Centre-ville, il reste que c'est la chlorophylle (b) qui enregistre le taux le plus élevé, il est estimé à 25  $\mu\text{g/g}$ , suivi de la chlorophylle (a), avec une quantité estimée à 18  $\mu\text{g/g}$ . Cette quantité est la moitié de celle enregistrée pour la chlorophylle (ab) de station.



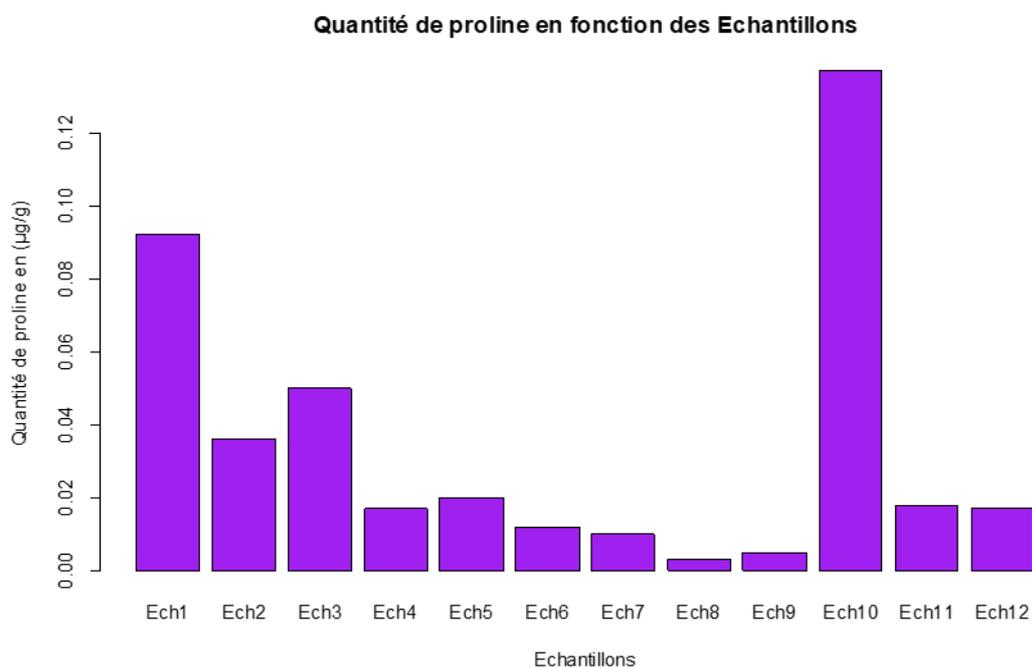
**Figure 20:** Variation spatiale de 3 type de chlorophylle a , b , ab dans chaque station d'échantillonnage dans la régions de Beni Amrane (Juin 2021).

Dans la station de Touzaline, la concentration moyenne de la chlorophylle (b) dans *Xanthoria parietina* est la plus importante, elle est estimée à 30  $\mu\text{g}$ , suivie par le taux de chlorophylle (ab), avec une valeur estimée à 24  $\mu\text{g}$ , et la plus petite concentration moyenne, elle est enregistrée par la chlorophylle (a). Elle est estimée à 18  $\mu\text{g}$ .

### 3.3. Concentrations de la proline dans les thalles de *Xanthoria parietina*

La production de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad 2007).

Pour connaître la tolérance de l'espèce *Xanthoria parietina*, nous avons mené l'étude suivante, qui consiste à déterminer la quantité de proline dans chaque échantillon, et avec les résultats que nous avons obtenus, nous avons réalisé la figure (21).



**Figure 21 :** la quantité de la proline synthétisée par les échantillons de *Xanthoria parietina*

D'après l'histogramme, nous remarquons une nette variation dans les quantités de proline entre les échantillons.

Quant à la valeur la plus élevée, c'est celle de l'échantillon 10 et qui est estimée à 0,15 µg/g, la quantité la plus faible est celle de l'échantillon 8 qui est estimée à 0,008 µg/g.

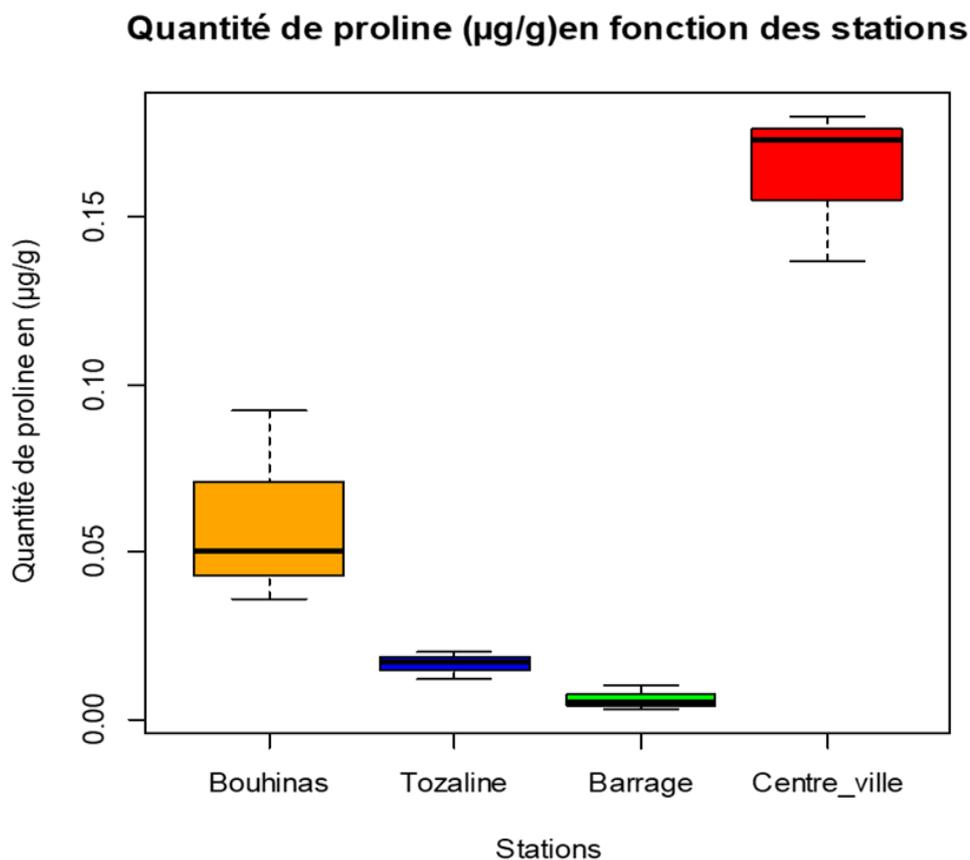
La concentration trouvée dans le cas de l'échantillon 1 et qui est 0.09 µg/g, représente la moitié de celle de l'échantillon 3. La concentration mesurée pour l'échantillon 5 et qui est de 0.02 µg/g, quand à elle, représente le double de celle de l'échantillon 2 (0.01 µg/g).

Nous remarquons que les échantillons 4, 11 et 12 présentent tous des valeurs proches de 0,018 µg/g.

Les échantillons 6 et 7, enregistrent des quantités de proline similaires et qui sont estimées de  $0.01 \mu\text{g/g}$ . Cette quantité est la moitié de celle de l'échantillon 9.

Après avoir analysé les résultats des prélèvements, obtenus sur la proline, nous les avons classés selon les quatre stations. Avec les paramètres statistiques de position calculés sur les données de la proline et pour chaque station, nous avons réalisé le graphique des boîtes à moustache en figure 22.

D'après ces box plot, il est clair que la quantité de proline est plus élevée dans la station de Centre-ville qui représente la station la plus exposée au stress avec une quantité de proline estimée de  $0,20 \mu\text{g/g}$  et cette quantité est quatre fois supérieure à celle de la station Tozaline.



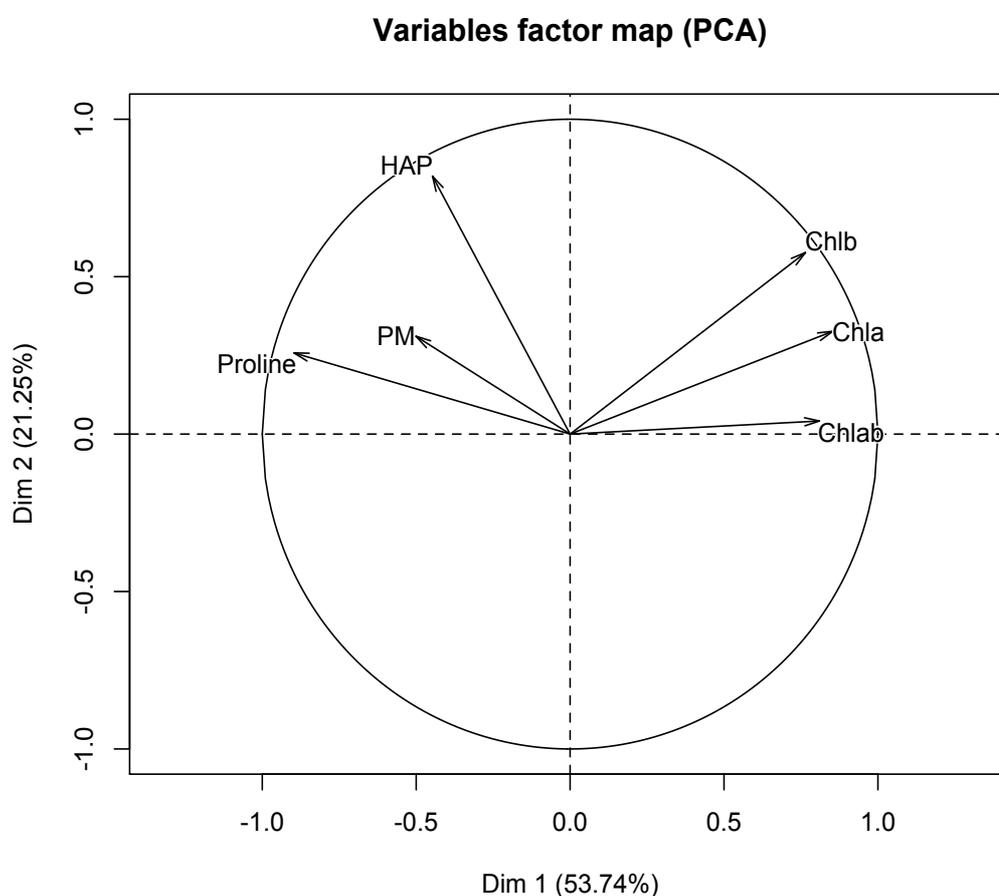
**Figure 22 :** Variation spatiale de la quantité de proline synthétisée par *Xanthoria parietina* dans la région de Beni Amrane (Juin 2021).

La quantité de proline pour la station Bouhinas est estimée à  $0.04 \mu\text{g/g}$  et cette valeur est deux fois plus supérieure à celle des stations de Barrage qui représente la station la moins exposée au stress.

#### 4. Corrélation entre les paramètres

L'analyse en composantes principales (ACP, appliquée à nos résultats a permis de visualiser la structuration de la variation totale d'un ensemble de six variables. Cette analyse révèle que 74,99 % de la variation totale de notre matrice de variables est expliquée par les deux composantes principales

Le premier axe d'ACP explique lui seul 53,74% de la variation totale, il est corrélé négativement avec les variables suivantes : HAP ( $r=-0,248975$ ), PM ( $r=-0,2788540$ ) et la proline ( $r=-0,4995938$ ).



**Figure23:** Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur *Xanthoria pareitina* prélevés dans la ville de Beni Amrane en Juin 2021.

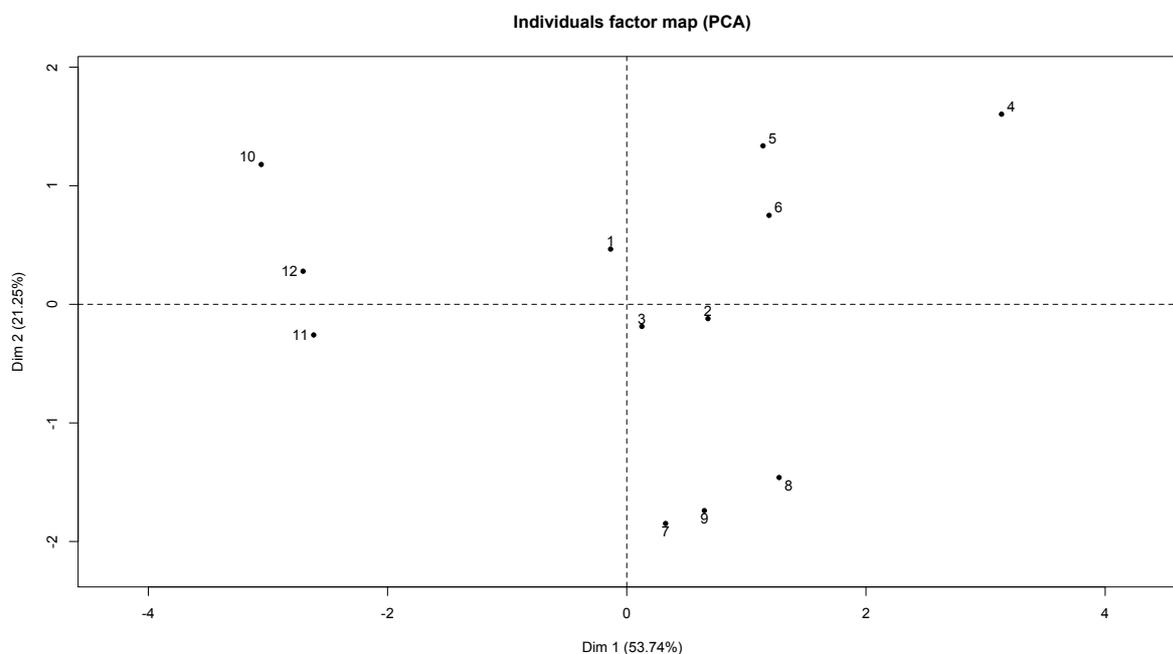
Il est par contre corrélé positivement avec les paramètres de la chlorophylle : Chl a ( $r=0,4752269$ ), Chl b ( $r=0,4258324$ ) et la Chl ab ( $r=0,4510919$ ) (tableau 6).

**Tableau 6 :** Corrélation des paramètres mesurés avec les deux axes de cercle de corrélation.

Paramètres	C1	C2
HAP	-0,2489755	0,72552407
PM	-0,2788540	0,27524002
Chl a	0 ,4752269	0,28912923
Chlo b	0, 4258324	0,51065990
Chlo ab	0 ,4510919	0,03680688
Proline	-0 , 4995938	0,22832814

Concernant le deuxième axe, il explique à lui seul 21,25 % de la variation totale. Cet axe présente une corrélation positive avec toutes les variables (HAP, PM, Chla, Chlb, Chlab et Proline) avec les coefficients de corrélation qui sont successivement de l'ordre de (0,72 ; 0,27 ; 0,30 ; 0,51 ; 0,036 et 0,23).

Les individus sur le cercles représentent les 12 sites d'échantillonnage. La figure 24, montre que le site 1, 2 et 3 sont proches. Donc ces trois sites partagent les mêmes informations par rapport aux différents paramètres étudiés et qui proviennent de la même station (Bouhinas). Aussi les sites 4, 5 et 6 qui appartiennent à la station (Touzaline) figurent dans le même carré. Donc ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec les autres.



**Figure 24:** Distribution des individus dans le cercle de corrélation

Du même pour les sites 7, 8 et 9, ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec la suite des sites, ce qui est indiqué par leur proximité sur le même graphe, ils appartiennent à la station (Barrage).

Enfin les sites 10, 11 et 12, partagent plus d'informations entre eux car ils proviennent des trois de la station (Centre-Ville).

### **5. Discussion**

Les lichens sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques aussi bien gazeux que particulaires. La région de Beni Amrane est considérée comme une région montagneuse entourée de montagnes de tous les côtés, ce qui rend la pollution de l'air lentement dispersée.

Les teneurs en HAP enregistrées dans les différentes stations de Beni Amrane sont très variables. Elles sont généralement élevées par rapport aux teneurs normales enregistrées dans les stations non polluées.

On remarque généralement que l'accumulation des HAP est forte dans les sites urbains et suburbains situés à proximité des axes routiers à fort trafic automobile (Centre-ville, Tozaline Bouhinas). Les teneurs les plus faibles sont enregistrées dans les sites forestiers qui sont loin de l'activité humaine (Barrage).

En se basant sur le taux des HAP accumulés par le lichen, nous pouvons classer nos stations en trois catégories selon le degré de pollution :

- 1.** Station fortement polluée, c'est la station urbaine de Centre-ville. Elle est caractérisée par un trafic routier intense.
- 2.** Stations moyennement polluées ou suburbaines. Ce sont les deux stations de Bouhinas et de Tozaline.
- 3.** Station à pollution faible. Il s'agit de la station forestière de Barrage, qui est loin de l'action anthropique.

Les résultats obtenus permettent de distinguer le fait que les stations ayant l'exposition potentiellement la plus forte pollution présentent une concentration de chlorophylle faible et une concentration de proline très forte ce qui est considéré comme un indicateur que la plante est dans un état de stress.

Les résultats de corrélation entre les paramètres confirment également que les stations qui montrent de fortes concentrations de PM, sont les mêmes qui montrent de fortes concentrations des HAP.

Les résultats permettent ainsi de distinguer le fait que les stations, ayant l'exposition la plus faible en pollution atmosphérique par les HAP, présentent une concentration de chlorophylle forte. Ce qui prouve que la plante fait son processus de photosynthèse.

Aussi les concentrations de proline les plus faibles vont avec les faibles concentrations des PM déposées sur les thalles de la plante.

---

# Conclusion

## ***Conclusion***

---

La biosurveillance ne permet pas de connaître la concentration de l'air en polluants, mais elle donne des indications assez précises sur les impacts potentiels que ces polluants atmosphériques peuvent avoir sur les êtres vivants (Berrayah *et al*, 2016).

Les organismes vivants sont connus pour témoigner des conditions environnementales selon leur sensibilité. Il s'agit de surveillance biologique, en utilisant les espèces animales ou végétales les plus sensibles face aux polluants recherchés dans leur milieu environnant. Dans ce contexte, les lichens sont d'excellents bioindicateurs pour évaluer la pollution atmosphérique (Garrec et van Haluwyn, 2002).

La bio indication par *Xanthoria parietina* de la pollution de l'air permis de caractériser l'impact d'un grand nombre des polluants atmosphérique.

Les travaux décrits dans cette étude montrent que les HAP se sont accumulés de façon importante dans le lichen *Xanthoria parietina*. Le taux d'accumulation des HAP, dépendant des stations et leur activité automobile.

Les lichens, ces accumulateurs biologiques, permettent de cartographier différents gisements primaires et d'identifier les hydrocarbures polycycliques issus du trafic routier. Les lichens urbains peuvent former des réseaux de plantes biomarqueurs de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation s'est avérée être une méthode particulièrement simple, flexible, économique et efficace pour créer des cartes spatio-temporelles de la pollution atmosphérique. L'identification des contaminations chez les organismes sensibles permet également de détecter une détérioration de la qualité de l'air avant qu'elle n'affecte sévèrement l'environnement et l'homme.

### Références bibliographiques

- ashraf, m., and foolad, m.r. 2007.** roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. environ.
- ait hammou m.,(2015).** analyses taxonomique et écologique des lichens des lichens de la région de tiaret .thèse de doctorat. université d'oran 1. algérie .266p.
- asta j ,erhardt w ,ferreti m ,fornasier f,wirth v (2002).**mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality in :nimis pl,scheidegger c , wolseley pa.monotoring with lichens.kluwer ,the netherlands,214-279.
- anonyme.(2008).** les particules en suspensions, une pollution complexe, un dispositif d'information en évolution. atmopaca (pollution de l'air)
- astaj.,erhardt w.,ferretti m.,fornasier f.,kirschbaum u.,nimis p.l.,purviso w.,pirintsoss.,scheidegger c., van haluwyn c. (2002)** *europaen guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress*. british lichen society.
- barreca,s.,mazzola, a., orecchio ,s.,tuzzolino,n., 2014.** polychlorinated biphenyls in sediment from sicilian coastal area (scogliti) using automated soxhlet, gc-ms and principal component analysis. polycycl. aromat.comp.34, 237-262.
- bargagli r.(1998).** trace elements in terrestrial plants, an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery, springer, berlin, 324p.
- balampanis,d.e., coulou, f., simms, n.,longhurst,p., pollard,s.j.t., fenech, c.,villa,r, 2017.** an assessment of different extraction and quantification methods of penta-and hexa -chlorobenzene from srf fly-ash. anal.chem.res,12,28-33
- berrayah m., maatoug m., azzaoui m., diallo o., sidibé a., manaa k. (2016).** *biosurveillance de la qualite de l'air d'un milieu urbain par des mousses et des lichens. cas de la ville de tlemcen (algerie)*. european scientific journal february, vol 12, n° 9 :151- 163
- benard a., durif m. et van damme l., 2004.** utilisation d'une technique de bio surveillance pour évaluer les retombées de métaux lourds. ineris,paris, 61 p.
- boussabouaa k. (2010).** etude des emissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne. thèse de doctorat en science de génie mécanique, 7-49p.
- berrayah m., maatoug m., azzaoui m., diallo o., sidibé a., manaa k. (2016).** biosurveillance de la qualite de l'air d'un milieu urbain par des mousses et des lichens. cas de la ville de tlemcen (algerie). european scientific journal february, vol 12, n° 9 :151- 163.
- catinon m. (2010).** détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. thèse de doctorat de l'université de grenoble 1, école doctorale ingénierie pour la santé, la cognition et l'environnement, 46, 48 -148. 206p laboratoire d'écologie alpine-umr 5553.

## ***Références Bibliographiques***

---

- clauzade g et roux c. ,1987.** généralités sur les lichens et leur détermination, bul. de la société botanique centre – ouest n 18, 154p
- chakhparonian m., 1995.** développement d'un système biologique de surveillance de la pollution atmosphérique: étude sur des populations *d'arabidopsis thaliana* sous conditions contrôlées. diplôme de biologiste, université de lausanne, 48p.
- c.e.** directive 2008/50/ce du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'europe. - [s.l.] : conseil européen, 2008. - pp. 152/1 - 152/44.
- cuny d. (2012).** qualité de l'air : de l'échelle locale à l'échelle planétaire. compréhension – implications. journée scientifique bi-académique académie nationale de pharmacie et académie des technologies.
- come d., francoise c., 2006 :** dictionnaire de la biologie des semences et des plantes, édition tec et doc. lavoisier.
- desalme ,d ,(2011)** contamination atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques :toxicité et devenir du phénoanthrène dans des systèmes sol-plante microorganisme these de doctorat :sciences de la vie et de l'environnement .pari :université de franche –comté ,2011 ,p135(consulté le 15/05/2018)
- festyb (1999)** . la valeur sanitaire des seuils .airpur, 56 : 17 - 21.
- foan l m .(2012).**biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes : suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (hap) à diverses échelles spatio-temporelles. thèse de doctorat de l'université de toulouse, option sciences des agro ressources,54, 55, 56320).
- garrec j p. (2007).** l'expertise technique et scientifique de référence. laboratoire pollution atmosphérique inra – centre de recherche de nancy.
- garrec j.p., van haluwyn c. (2002).** biosurveillance végétale de la qualité de l'air : concepts, méthodes et applications. paris, tec et doc. 117 p.
- garrec j.p., van haluwyn c. (2002).** *biosurveillance végétale de la qualité de l'air : concepts, méthodes et applications.* paris, tec et doc. 117 p.
- herzig r., liebendörfer l., urech m. (1987)** *flechtenalsbioindikatoren der luftverschmutzung in der schweiz:methoden-evaluation und einrichtung mit wichtigen luftschadstoffen.* vdiberichte.619-639 p
- impensr, piret t, robert mj (1981 )** . surveillance de la quantité de l'aire par analyse de plantes indicatrice et accumulatrice .annales de gembloux , 87 : 49-59
- inra : centre de recherche de nancy, laboratoire pollution atmosphérique. (2009).** *apprenez à estimer la qualité de l'air à l'aide de lichens.* n° isbn : 978-2 - 909814 - 11-7, 2p.
- jones k.c et de voogt, p.(1999).** persistent organic pollutants (pops): state of the science. environmental pollution 100 (1-3), 209-221.
- jonathan s. (2013).** air lorraine : biosurveillance de l'environnement par les lichens dans les réserves naturelles nationales de la tourbière de machais et du massif du grand ventron

## ***Références Bibliographiques***

---

.rapport complète sur la biosurveillance, france .64p

**jensen s , eriksson g , kylin h strachan wmj (1992)** .atmospheric pollution y persistent organiccompouds :monitoring with pine needles . chemosphere, 24: 229-245.

**joumard r., lamure c., lambert j. (1995)**. politiques de transport et qualité de l'air dans les agglomérations. ed : len n° 9515, bron (france), 125 p.

**kirchbaum u. et wirth v., 1997**. les lichensbioindicateurs les reconnaître pour évaluer la qualitéde l'air. ed. euglen ulmer, paris, 128p.

**kricke r., loppi s.** (2002) *bio indication: the iap approach*. monitoring with lichens - monitoring lichens 7:21-37.

**kulkarni n. et grigg j.** effect of air pollution on children [conférence] // symposium: social paediatrics. - [s.l.] : elsevier, 2008. - pp. 238-243.

**kebiche m, faycal a, benabid c. (2001)**. l'utilisation de la végétation comme bio-indicateur de la pollution fluorée dans la région de sétif (algérie).université de sétif (algérie), institut debiologie, département d'écologie et environnement. ann. géo., n" 617, 2001, pages 90-101, © armand colin.

**lau,e.,v.,gan,s., ng,h,k., poh,pe., 2014** .extraction agents for the removal of polycyclicaromatichydrocarbons (pahs) fromsoil in soilwashingtechnologies.envIRON, pollut.184, 640-649.

**lawal , a,t.,2017** polyciclicaromatichydrocarbons. a revie .cogentenviron.sci.3,1-89.

**lallemand r., joslain h., houssay i., cyprien a.-l.** (1996) *the use of lichens for estimating ammonia air pollu-tion in western france*. université denantes.

**lacour s. (2009)**. cours de pollution atmosphérique. inventaires d'émissions .ecole nationale des ponts et chaussées. centre d'enseignement et de recherche sur l'environnement. atmosphérique. cerea: centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique, 34p.

**leblanc s. c. f., sloover j. d.** (1970) *relation between industrialization and the distribution and growth of epi-phytic lichens and mosses in montreal*. canadian journal of botany 48:1485\_1496.

**meylan, w.m., haward, p.h.,2005**. esimating octanol-air partition coefficients with octanol-water partition co.

**mignanegol, biondif, schenone g (1992)** .ozone biomonitoring in northern la qualité de l'air, rouen, 6 novembre 1997, 39-40.

**maatoug m., medkourr k., ait hammou m., ayad n. (2010)**. *cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière à l'aide de la transplantation d'un lichen bioaccumulateur xanthoria parietina dans la ville de tiaret (algérie)*. pollution atmosphérique, n° 205 : 93 -102.

**mersch j ,claveri b (1997)**.biosurveillance des retombées atmosphérique d'hy\_drocarures aromatique polycuclyque et de dioxines /furanes par des bryo\_phytes terrestres et des choux a feuilles fristées.il :afie.les bio-indicatures de la qualité de l air ,rouen ,6 novembre 1997,39-40.

## ***Références Bibliographiques***

---

- maizi n. (2013).** *caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bios indicateurs végétaux : un lichen (ramalina farinacea), une mousse (funaria hygrométrica) et quelques espèces phanogamiques dans la région d'annaba (algérie).* thèse de doctorat, biologie végétale, faculté des sciences, département de biologie, université badjimokhtar –annaba, 165p.
- maslet p.(2005).** pollution atmosphérique : causes, conséquences, pollution, perspectives. edition elipses, 13,14, 22,28,35-213p.
- malcolm, b., malcolm, n.(2000).** mosses and other bryophytes – an illustrated glossary. micro-optics press, micro-optics ltd., nelson, new zealand, 220p.
- markert b., breure m ; zeichmeister h. (2003).** bioindicators & biomonitoring: principles, concepts, and applications. elsevier. amsterdam, 997p
- meylan, w.m., haward, p.h.,2005.** estimating octanol-air partition coefficients with octanol-water partition coefficients and henry's law constants. chemo-sphere 61, 640 - 644.
- mcLachlan, m.s., 1999.** framework for the interpretation of measurements of SOCs in plants .environ.sci. technol.33,1799-1804.
- mayer h.** air pollution in cities [revue] // atmospheric environment. - 1999. - vol. 33. - pp. 4029-4037
- ozenda p., 1990.** sur la division phytocéologique de l'europe .ecologia méditerranéenne xvi, 299-315.
- ozenda p. et clauzade g., 1970.** les lichens étude biologique et flore illustrée. edi masson & cie.paris, 801p.
- parmentier c., garrec j. (1994).** impact de la pollution atmosphérique le long des routes et autoroutes sur la végétation environnante, utilisation de la bioindication végétale, synthèse bibliographique, inra centre de recherches forestières de nancy, laboratoire d'étude de la pollution atmosphérique, 84 p
- rahali m., 2003.** étude de la pollution plombique et globale dans la région d'alger, en utilisant les lichens comme indicateurs biologiques. thèse de doctorat d'état. ina, alger, 302p.
- rahali m. (2003).** *cartographie de la pollution plombique dans la région d'alger en utilisant un lichen (xanthoria parietina) comme bioaccumulateur.* pollution atmosphérique, n°175 : 421- 432.
- stenbock-farmer k. (1978).** mise au point de techniques de lavage de feuilles en vue d'estimer les dépôts de particules. bull. e.r.a., bruxelles, 3, 63-75.
- semadi a., deruelle s. (1993).** *détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région d'annaba (algérie).* pollution atmosphérique : 86-102.
- schütz m. (1995).** environnement et pollution comment mesurer? comment réagir ?, ed : publitrone, nieppe, 253 p
- szulejko, j.e., kim, k.h., brown, r.j.c., bae, m., s., 2014.** review of progress in solvent-extraction technique for the determination of polyaromatic hydrocarbons as airborne pollution trends anal .chem.61,40-48.

## ***Références Bibliographiques***

---

- tomasevic m., vukmirovic z., rajsic s., tasic m. et stevanovic b. (2005)**characterisation of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area, *Chemosphere* 61, 753-760.
- van haluwyn, c. & lerond m. (1993)** . guide des lichens. edition .lechevalier. paris, p . 33401-441.
- wegener j-w-m., van schaik m-j-m et aiking h.(1992)**. active biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons by means of mosses. *environmental pollution* 76 (1), 15-18.
- wappelhorst o ,kuhn i ,oehlmann j ,markert b (2000)**.deposition and disease :a moss monitoring project as an approach to ascertaining potential connections.*the science of the total environment* ,249 :243-256

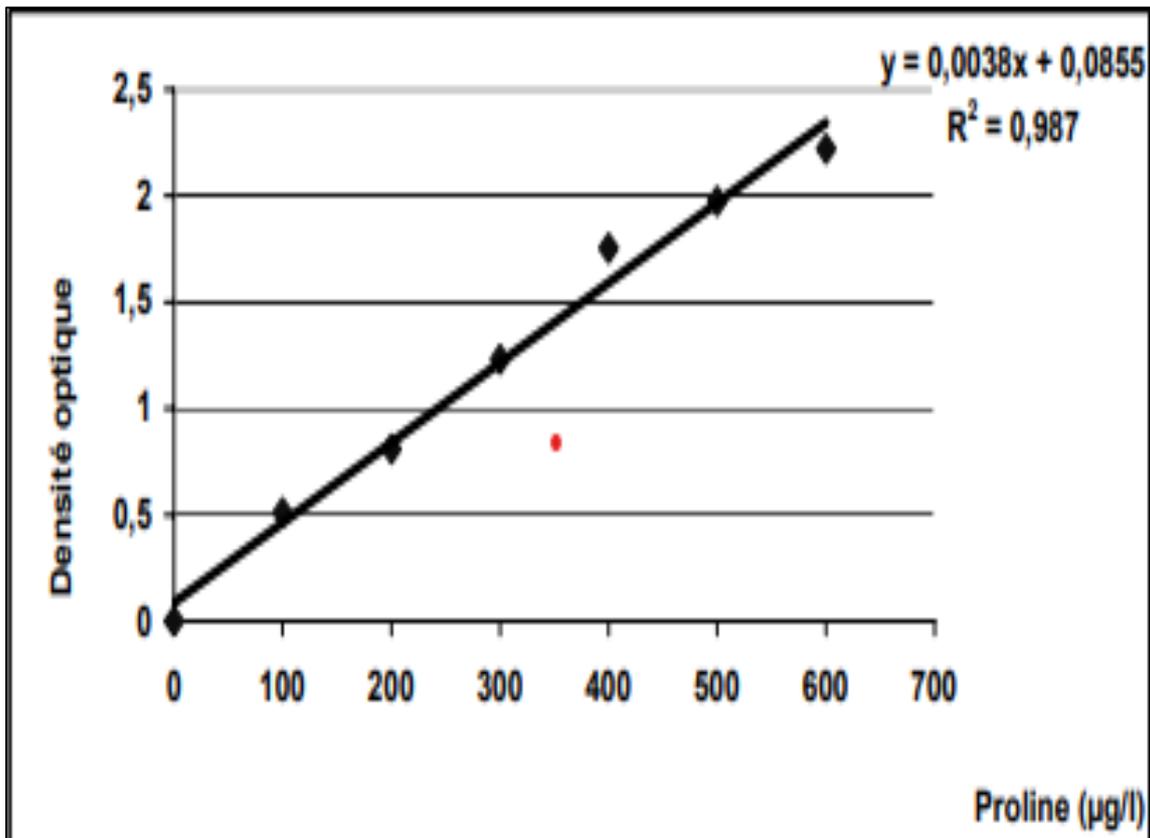
## Annexes

---

**Annexes 1** : Relation entre la densité optique et la concentration en proline.

l'équation permettant l'obtention de la courbe d'étalonnage est :

$$Y = 0,0038X - 0,0855 \dots \dots \dots (1)$$



## Résumé

L'objectif de ce travail est de caractériser la pollution atmosphérique par les émissions automobiles dans la région de Beni Amrane dans la wilaya de Boumerdès, à l'aide d'un bioaccumulateur végétal qui est le lichen (*Xanthoria parietina*).

Des indicateurs physiologiques de ce lichen (chlorophylle et proline) ont été utilisés pour étudier les effets des hydrocarbures aromatiques polycycliques qui y sont accumulés et les particules qui y sont déposées. Quatre stations (Centre-ville ; Barrage, Bouhinasse et Tozalin) ont été choisies pour effectuer 12 prélèvements dans la zone d'étude, en Juin 2021.

Les résultats ont montré que les stations urbaines caractérisées par une forte activité automobile, ont enregistrées les concentrations de chlorophylles les plus faibles et des concentrations des HAP, des PM et de proline les plus élevées.

**Mots-clés :** HAP, pollution atmosphérique, Beni Amrane, *Xanthoria parietina*.

## Abstract

The objective of this work is to characterize the atmospheric pollution by automobile emissions in the region of Beni Amrane in the wilaya of Boumerdès, using a plant bioaccumulator which is the lichen (*Xanthoria parietina*).

Physiological indicators of this lichen (chlorophyll and proline) were used to study the effects of polycyclic aromatic hydrocarbons that accumulate there and the particles that are deposited there. Four stations (Downtown; Barrage, Bouhinasse and Tozalin) were chosen to take 12 samples in the study area, in June 2021.

The results showed that the urban stations characterized by a strong automobile activity, recorded the lowest concentrations of chlorophylls and the high concentrations of PAHs, PMs and proline.

**Keywords :** HAP, pollution atmospheric, Beni Amrane, *Xanthoria parietina*.

## المخلص

الهدف من هذا العمل هو توصيف تلوث الغلاف الجوي بانبعثات السيارات في منطقة بني عمران ولاية بومرداس باستخدام  
(*Xanthoria parietina*) مؤشر حيوي وهو الاشنات

تم استخدام المؤشرات الفسيولوجية لهذه الاشنات (الكوروفيل والبرولين) لدراسة آثار الهيدروكربونات العطرية متعددة  
الحلقات التي تتراكم داخل الاشنات والجسيمات التي تترسب فيها

تم اختيار أربع محطات (وسط المدينة، السد، توزالين، بوهيناس) لاختذ 12 عينة في منطقة الدراسة بتاريخ يونيو 2021  
أظهرت النتائج ان المحطات الحضرية التي تتميز بنشاط قوي لسيارات سجلت أقل تراكيز من الكلوروفيل واعلى تراكيز  
من الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والجسيمات والبرولين

الكلمات المفتاحية : المحروقات بني عمران. تلوث الهواء، *Xanthoria parietina*