

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

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



Réf :.....

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

**MASTER**

*Thème*

**Bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les  
HAPs et les PM dans la ville de Bejaïa en utilisant  
*Xanthoria parietina***

Présenté par :

**ABDERRAHMANI Aziza & ABDOUN Sofia**

Soutenue le : 04/10/2021

Devant le jury composé de :

Mme. MANKOU Nadia	MAA	Univ.de Bejaia	Présidente
Mme. ZEBBOUDJ Aicha	Professeur	Univ.de Bejaia	Examinatrice
Mr. DAHMANA Abdelhak	MCA	Univ.de Bejaia	Encadreur
Mme. BENAÏSSA Fatima	MCA	Univ. de Boumerdes	Co-encadreur

**Année universitaire : 2020 / 2021**

# *Remerciement*

## *Dieu merci*

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciements notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leurs conseils, nous avons eu courage d'accomplir ce travail.

Nous commençons par remercier monsieur DAHMANA Abdelhak qui nous a fait l'honneur d'être notre encadreur par son suivi, ses conseils, sa disponibilité son accompagnement, et son encouragement continu, et aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à travers le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils, malgré sa grande occupation.

On le remercie profondément, pour son soutien moral et sa preuve de compréhension, ce qui nous a donné la force et le courage d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons d'autre part à remercier notre Co-encadrante madame BENAÏSSA Fatima pour son aide, ses orientations et les conseils qu'elle a pu nous donnée tout au long de la période de réalisation de ce travail.

On remercie aussi les membres de jury pour bien vouloir nous accorder leur temps précieux pour évaluer notre travail.

Un grand merci à monsieur AZZOUG Moufok et monsieur KARAR Mokrane pour leurs aides, conseils et leurs disponibilités.

On tient à remercier aussi deux personnes en particulier qui étai là pour nous encourager tout au long de la réalisation de ce mémoire : Mr OUKACHEBI Nadjim et Mr ANDJOUH Nazim.

# Dédicace

Louange à Allah, seigneur de l'univers, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a inspiré et comblé de bienfait, je lui rends grâce.

A mon cher père, le premier et le dernier homme de ma vie, source d'amour, d'affection, de générosité et de sacrifices. Tu étais toujours là près de moi pour me soutenir m'encourager, et me guider avec les précieux conseils. Que ce travail soit le témoignage des sacrifices que vous avez cessé de déployer pour mon éducation et mon instruction.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et l'admiration que je porte au grand homme que vous êtes, puisse Dieu le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie.

A ma très chère mère, source de ma vie, d'amour et de tendresse qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi vous m'avez toujours aidé par vos conseils et vos sacrifices. Puisse Dieu le tout puissant t'accorder meilleure santé et longue vie.

A mes sœurs Samira, Soraya et son mari, Salima, Sabrina et son mari, pour leur patience, soutien et leurs sentiments d'amour au moment les plus difficiles. Je vous souhaite pleine de succès, de joie et de bonheur. Que Dieu vous garde et illumine vos chemins.

A mon seul et unique frère que le bon Dieu te garde, je te souhaite tout le bonheur que tu mérites.

A mes deux neveux : Anes et Akram que Dieu les garde.

A ma chère sœur, amie et binôme Aziza pour sa patience afin de donner naissance à ce projet.

A tous mes amis(e) Khadidja, Hanane, Sofiane, Islem, et à tous mes amis(e) qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

**Sofia**

# Dédicace

Louange à Allah, seigneur de l'univers, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a inspiré et comblé de bien fait, je lui rends grâce

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

A l'homme de ma vie mon cher père, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, qui éclaire mon chemin et illumine de douceur et d'amour.

Aucune dédicace se saurait exprimer l'amour et l'admiration que je porte au grand homme que vous êtes, puisse Dieu le tout puissants, vous préserver et vous accorder santé, longue vie.

A ma très chère maman, signe d'amour et de tendresse, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont elle a fait preuve à mon égard.

Puisse Dieu le tout puissant t'accorder meilleure santé et longue vie.

A mes chères sœurs Sarah, Katia et Amira pour leurs patience, soutien et leurs sentiments d'amour au moment les plus difficile. je vous souhaite pleine de succès, de joie et de bonheur. Que dieu vous garde et illumine vos chemins.

A ma chère sœur amie et binôme Sofia pour sa patience afin de donner naissance à ce projet, et à toute sa famille.

A mes meilleurs amis, Nabil et Hamid, et à toutes les personnes qui me sont très chères et qui m'ont aidé de près ou de loin à finaliser ce travail.

**Aziza**

## Résumé

Ce travail est porté sur l'étude de la pollution atmosphérique dans la ville de Bejaïa en utilisant l'espèce *Xanthoria parietina* comme bio-accumulateur de ce type de pollution.

Dans ce contexte, huit stations ont été choisies pour le prélèvement de l'espèce. Après une période de 20 jours sans pluie on a procédé à un échantillonnage, une fois au labo on les a conservés dans le frigo, puis on a procédé aux dosages des polluants (HAPs et les PM)

les paramètres physiologiques (chlorophylles, proline) ont été mesurés au sein des stations d'études.

Les résultats montrent une variation dans l'espace (stations) de ces paramètres et le test de kruskal Wallis a révélé une différence moyennement significative pour les paramètres physiologiques, de même pour les particules en suspensions ce test a donné des variations significatives.

Le test de l'Analyse en Composante Principale (ACP) montre que 74.7% de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables) est représentée dans ce plan, et cette valeur est supérieure à la valeur référence de 65.05% , la variabilité est donc significative.

**Mots clés :** Pollution Atmosphérique, Bioaccumulation, zone urbaine, *Xanthoria parietina*, Hydrocarbures aromatiques polycycliques, proline, chlorophylle.

## Abstract

This work is focused on the study of air pollution in the city of Bejaia using the species *Xanthoria parietina* as bio-accumulator of this type of pollution.

In this context, eight stations were chosen for the sampling of the species. After a period of 20 days without rain we proceeded to a sampling, once in the lab we kept them in the refrigerator, then we proceeded to the dosages of the pollutants (PAHs and PM)

Physiological parameters (chlorophylls, proline) were measured in the study stations.

The results show a variation in the space (stations) of these parameters and the test of kruskal Wallis to reveal a difference moderately significant for the physiological parameters, in the same way for the particles in suspensions this test gave significant variations.

The Principal Component Analysis (PCA) test shows that 74.7% of the total variability of the cloud of individuals (or variables) is represented in this plane, and this value is higher than the reference value of 65.05%, the variability is therefore significant.

**Key words:** Air pollution, Bioaccumulation, urban area, *Xanthoria parietina*, Polycyclic aromatic hydrocarbons, proline, chlorophyll.

## ملخص

يركز هذا العمل على دراسة التلوث الجوي في مدينة بجاية باستخدام النوع *Xanthoria parietina* كمركب حيوي لهذا النوع من التلوث. في هذا السياق، تم اختيار ثماني محطات لجمع الأنواع. بعد فترة 20 يومًا بدون مطر، انتقلنا إلى أخذ العينات، وبمجرد دخولنا إلى المختبر احتفظنا بها في الثلاجة، ثم انتقلنا إلى جرعات الملوثات (الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والجسيمات) تم قياس المعلمات الفسيولوجية (الكلوروفيل، البرولين) داخل محطات الدراسة. أظهرت النتائج تباينًا في الفضاء (المحطات) لهذه المعلمات وأظهر اختبار Kruskal Wallis فرقًا معتدلًا معتدلًا في المعلمات الفسيولوجية، وبالمثل بالنسبة للجسيمات المعلقة، أعطى هذا الاختبار اختلافات كبيرة. يوضح اختبار تحليل المكونات الرئيسية (PCA) أن 74.7% من المتغيرات الإجمالية لسحابة الأفراد (أو المتغيرات) ممثلة في هذا المستوى، وهذه القيمة أكبر من القيمة المرجعية البالغة 65.05%، وبالتالي فإن التباين مهم.

الكلمات المفتاحية: تلوث الغلاف الجوي، التراكم البيولوجي، المنطقة الحضرية، *Xanthoria parietina* الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، البرولين، الكلوروفيل.

## Liste des figures

N° de la figure	Titre de la figure
01	Pyrosynthèse du benzène à partir de l'éthane
02	Formation du pyrène par combinaison de l'acétylène avec le radical phénanthrène.
03	Formation du naphthalène par pyrolyse à partir du phénol
04	Structure des 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques prioritaires de la liste de l'US-EPA
05	Réactions chimiques des HAP dans l'atmosphère
06	Échanges nutritionnels entre les partenaires des lichens
07	Anatomie des lichens : structure homéomère (a) ; structure hétéromère (b)
08	Organes reproductifs des lichens :(a) apothecies,(b) lirelles,(c) peritheces ,(d) soralies,(e) isidies.
09	<i>Xanthoria parietina</i>
10	Présentation de la zone d'étude
11	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Béjaïa (2008-2018)
12	Diagramme ombrothermique d'Emberger de la région de Bejaïa pour la période 2008-2018
13	illustration de notre zone d'étude et les stations de prélèvement
14	Prélèvement d'échantillon de <i>Xanthoria Parietina</i> sur un arbre avec un couteau en céramique
15	L'extraction des HAPs à l'aide de Soxhlet
16	Schéma d'un appareillage de Soxhlet
17	Ensemble de creuset contenant l'extrait de l'échantillon brut.
18	Tubes contenant la solution portée à ébullition sur plaque chauffante
19	Tubes contenant la solution après ébullition
20	variation des HAPs en (ug/kg) accumulés par <i>Xanthoria parietina</i> en fonction des stations de prélèvement dans la ville de Bejaia (été 2021).
21	Variation des poussières en $\mu\text{g/g}$ accumulés par <i>Xanthoria Parietina</i> en fonction des stations de prélèvement dans la ville de Bejaia (été 2021).
22	variation de la teneur en la chlorophylle a en (ug/g) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria parietina</i> dans la ville de Bejaïa (été 2021).
23	Variation de la teneur en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria Parietina</i> dans la dans la ville de Bejaia (été 2021)
24	Variation de la teneur en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria parietina</i> dans la ville de bejaia (été 2021).
25	Variation de la proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria Parietina</i> dans ville de bejaia (été 2021).
26	Corrélation entre les teneurs en proline,Ch.a,Ch.b,Ch.ab et les polluants accumulées par <i>Xanthoria parietina</i> dans la ville de bejaia (été 2021).

27	Cercle de l'ACP.
28	Graphe des individus de l'ACP.
29	Arbre hiérarchique.
30	Plan factoriel des individus.

## Liste des tableaux

---

N° de tableau	Titre de tableau
I	Origine des principaux polluants primaires et leurs effets sur l'homme et l'environnement
II	Origine de quelques polluants secondaires et leurs effets sur la santé et l'environnement
III	Principaux groupement lichénique selon la nature de substrat
IV	Températures minimales, maximales et mensuelles moyennes exprimées en degrés Celsius (° C) dans la région de Bejaia.
V	Précipitations mensuelles (P) de la région de Bejaïa durant la période d'étude.
VI	Coordonnées GPS des différentes stations d'échantillonnage.

## Liste des abréviations

---

**POPs** : Polluants Organiques Persistants

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**COV** : composé organique volatil

**T** : Température

**T° min** : Température minimale

**T° moy** : Température moyenne

**T° max** : Température maximale

**Q2** : Quotient pluviométrique d'EMBERGER

**Ch. ab** : Chlorophylle ab

**Ch. a** : Chlorophylle a

**CH. b** : Chlorophylle b

**µg** : Microgramme

**O<sub>3</sub>** : l'ozone

**NO<sub>x</sub>** : les oxydes d'azotes

**BaP** : benzo(a)pyréne

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Première partie : synthèse bibliographique.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 La pollution atmosphérique .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Les sources de la pollution atmosphérique .....	4
1.1.1.1 Les émissions naturelles : .....	4
1.1.1.2 Les émissions anthropiques : .....	4
1.1.2 Principaux polluants atmosphériques .....	5
1.1.2.1 Les Polluants primaires .....	5
1.1.2.2 Les polluants secondaires .....	6
1.1.3 Les paramètres influençant la dispersion des polluants .....	7
1.1.3.1 Facteurs météorologiques .....	7
1.1.3.2 Facteurs topographiques .....	8
1.1.4 Échelles d'émission de polluants atmosphériques .....	9
1.1.4.1 Echelle local .....	9
1.1.4.2 Echelle régional .....	9
1.1.4.3 Echelle planétaire .....	9
<b>1.2 Pollution atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques .....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Présentation des HAPs : .....	10
1.2.2 Formation des HAPs .....	11
1.2.3 Structure et propriétés physico-chimique des HAPs .....	12
1.2.4 Origine d'HAPs dans l'atmosphère .....	13
1.2.4.1 Sources naturelles .....	13
1.2.4.2 Sources anthropiques .....	14
Devenir des HAP atmosphériques dans l'air .....	15
1.2.6 Dépôts atmosphériques .....	16
1.2.7 Impacts des HAPs .....	16
1.2.7.1 Impacts sur l'environnement .....	16
1.2.7.2 Impact sur la végétation .....	17
1.2.7.3 Impact sur la santé humaine .....	17
<b>2 La biosurveillance de la qualité de l'air .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Les concepts de la biosurveillance .....</b>	<b>19</b>
2.1.1 Le biomarqueur .....	19
2.1.2 Le bio-indicateur .....	19
2.1.3 Le bio-intégrateur .....	19
2.1.4 Le bioaccumulateur .....	19
<b>2.2 Les approches de la biosurveillance.....</b>	<b>20</b>

2.2.1	La méthode passive.....	20
2.2.2	La méthode active.....	20
<b>2.3</b>	<b><i>Avantages et limites de la biosurveillance</i></b> .....	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b><i>La biosurveillance de la qualité de l'air par les lichens</i></b> .....	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>Présentation des lichens</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Les partenaires de la symbiose lichénique et leurs rôles</i></b> .....	<b>22</b>
3.1.1	Le mycobionte .....	22
3.1.2	Le photobionte .....	22
<b>3.2</b>	<b><i>Structure anatomique des lichens</i></b> .....	<b>23</b>
<b>3.3</b>	<b><i>Morphologie et anatomie des lichens</i></b> .....	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b><i>Reproduction des lichens</i></b> .....	<b>24</b>
<b>3.5</b>	<b><i>Croissance et longévité des lichens</i></b> .....	<b>25</b>
<b>3.6</b>	<b><i>Ecologie des lichens</i></b> .....	<b>26</b>
3.6.1	Les facteurs substratiques .....	26
3.6.2	Les facteurs climatiques.....	27
3.6.3	Les facteurs biotiques .....	27
<b>3.7</b>	<b><i>Sensibilité des lichens face à la pollution de l'air</i></b> .....	<b>28</b>
<b>3.8</b>	<b><i>Les lichens bio accumulateurs des polluants organiques</i></b> .....	<b>28</b>
<b>3.9</b>	<b><i>Mécanisme d'accumulation des polluants organiques par les lichens</i></b> .....	<b>29</b>
<b>3.10</b>	<b><i>Présentation et description de Xanthoria parietina</i></b> .....	<b>30</b>
3.10.1	Structure anatomique .....	30
3.10.2	Classification.....	31
3.10.3	Reproduction.....	31
3.10.4	Ecologie .....	32
3.10.5	Intérêts.....	32
<b>3.11</b>	<b><i>Paramètres Physiologiques étudiées</i></b> .....	<b>33</b>
3.11.1	Chlorophylle .....	33
3.11.2	La proline .....	33
<b>Deuxième partie : Partie pratique</b> .....		
<b>1</b>	<b>Présentation de la zone d'étude</b> .....	<b>35</b>
<b>1.1</b>	<b><i>Climat</i></b> :.....	<b>36</b>
1.1.1	Températures : .....	36
1.1.2	Pluviométrie :.....	36
1.1.3	Vents :.....	36
1.1.4	Humidité : .....	37
<b>1.2</b>	<b><i>Synthèse climatique</i></b> :.....	<b>37</b>
1.2.1	Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen : .....	37
1.2.2	Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	38
<b>2</b>	<b>Plan d'échantillonnage</b> :.....	<b>39</b>

<b>2.1</b>	<b><i>Présentation des stations d'échantillonnage</i></b> .....	<b>40</b>
2.1.1	Technique de prélèvement des échantillons de <i>Xanthoria Parietina</i> .....	41
<b>2.2</b>	<b><i>Paramètres mesurés :</i></b> .....	<b>42</b>
2.2.1	Extraction des polluants : .....	42
2.2.1.1	Technique d'extraction des HAP .....	42
2.2.1.2	Principe de Soxhlet .....	43
2.2.2	Technique d'extractions des poussières et des cires : .....	45
<b>2.3</b>	<b><i>Paramètres physiologiques mesurés</i></b> .....	<b>46</b>
2.3.1	Dosage de la chlorophylle : .....	46
2.3.2	Dosage de la proline : .....	46
2.3.2.1	Extraction de la proline .....	46
2.3.2.2	Réalisation de la courbe d'étalonnage : .....	48
<b>Troisième partie : Résultats et discussion :</b> .....		<b>49</b>
<b>1</b>	<b>Evaluation de l'accumulation des HAPs par <i>Xanthoria parietina</i></b> .....	<b>49</b>
<b>2</b>	<b>Évaluation de l'accumulation des Poussières par les thalles de <i>Xanthoria parietina</i></b> .....	<b>50</b>
<b>3</b>	<b>Paramètres physiologiques étudiés</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Dosage de la Chlorophylle</i></b> .....	<b>51</b>
3.1.1	Dosage de la Chlorophylle a (Ch. a) Chez <i>Xanthoria Parietina</i> .....	51
3.1.2	Dosage de la Chlorophylle (Ch. b) chez <i>Xanthoria Parietina</i> .....	52
3.1.3	Dosage de la Chlorophylle ab (Ch. ab) chez <i>Xanthoria Parietina</i> .....	53
<b>3.2</b>	<b><i>Dosage de la proline chez <i>Xanthoria parietina</i></i></b> .....	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>L'analyse en Composante Principale (ACP)</b> .....	<b>55</b>
<b>Discussion</b> .....		<b>60</b>
<b>Conclusion générale</b> .....		<b>62</b>
<b>Référence bibliographiques</b> .....		

L'un des sujets de préoccupation environnemental est la pollution atmosphérique dans le monde. Surveiller la qualité de l'environnement est primordial pour identifier tout danger potentiel pour la santé humaine ou les écosystèmes et mener les actions préventives ou curatives appropriées. Depuis le début du siècle dernier, les émissions anthropiques vers le compartiment atmosphérique se sont intensifiées et diversifiées. De nombreux éléments chimiques sont suspectés d'impacter durablement notre environnement en dérégulant les grands cycles biogéochimiques.

Parmi les innombrables substances particulières ou gazeuses qui sont émises dans l'atmosphère, certaines peuvent être directement néfastes pour l'organisme, ou subir des réactions photochimiques ou radicalaires formant secondairement divers composés chimiques nuisibles pour l'environnement et pour l'homme. Un des groupes de polluants les plus étudiés, présent dans les fumées d'usines ou encore les gaz d'échappement, est celui des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) produits lors de la combustion incomplète de la matière organique. Du fait de leur faible pression de vapeur saturante, ces composés sont partagés entre les phases gazeuse et particulaire. Une fois émis dans l'atmosphère, leurs réactions atmosphériques vont conduire à la formation de nombreux produits d'oxydation. Certaines études ont montré que ces derniers pouvaient présenter une toxicité nettement plus élevée que celle de leurs composés parents (**Miet, 2008**).

Les mesures d'émission nécessitent un échantillonnage à long terme sur un grand nombre de sites d'échantillonnage. De telles mesures utilisant des équipements techniques ont été peu nombreuses, principalement en raison des coûts élevés et de l'absence de techniques suffisamment sensibles et peu onéreuses permettant de mesurer simultanément de nombreux contaminants de l'air. C'est ici qu'interviennent les organismes vivants pour témoigner des conditions environnementales selon leur sensibilité. Il s'agit de biosurveillance, en utilisant les espèces végétales et animales les plus sensibles face aux polluants recherchés dans leur milieu environnant. Plusieurs approches sont proposées selon l'échelle d'observation considéré (**Markert et al., 2003**).

La biosurveillance demeurera toujours la seule approche capable d'évaluer des effets biologiques d'une altération de l'environnement (**Van Haluwyn et al., 2011**). Elle est également de plus en plus intégrée aux méthodologies d'évaluations des risques sanitaires et écologiques et

constitue un outil d'information du grand public et d'aide à la décision dans les politiques publiques. Cette approche n'est donc pas substitutive des techniques physico-chimiques de surveillance, mais intervient en complément de celles-ci (**Cuny et al., 2008**).

Dans cet ordre d'idées, de nombreux végétaux peuvent être utilisés pour la biosurveillance de la qualité de l'air, parce qu'ils présentent des réactions biologiques caractéristiques en réponse à certains polluants soit parce qu'ils accumulent dans leurs tissus certains des composés toxiques qui se trouvent dans l'air qui les entoure. L'utilisation d'espèces végétales, témoins de l'état de contamination de l'air est un outil très intéressant au niveau local. Ainsi certaines espèces comme les lichens sont connus depuis longtemps pour être de bons indicateurs (**Khalil, 2016**).

Les lichens sont l'un des composants biologiques les plus remarquables de surveiller et indiquer la qualité de l'environnement, en particulier la pollution de l'air (**Loppi, 1996 ; Shukla et al., 2012**). En effet, les organismes tels que les lichens manquent de tissus défensifs, afin qu'ils puissent facilement absorber l'eau, les nutriments et les gaz directement de l'environnement (**Nash, 2008**). En raison de ces propriétés physiologiques particulières, les lichens épiphytes ont été utilisés depuis 1866 comme indicateurs biologiques de la pollution de l'air à une échelle locale (**Nylander, 1866**). Depuis, les lichens étaient devenus l'indicateur biologique le plus étudié et définis comme des « systèmes de contrôle permanents » pour l'évaluation de la pollution atmosphérique.

C'est dans ce cadre d'idées qu'a été envisagée la présente étude en visant comme objectif de contribuer à l'évaluation de la pollution de l'air au niveau de la localité de Bejaia par l'utilisation d'un bioindicateur lichénique représenté par l'espèce *Xanthoria parietina*. De l'ensemble des polluants de l'air pouvant affecter l'atmosphère locale, cette étude est focalisée particulièrement sur l'évaluation de la teneur en Hydrocarbures Aromatiques polycycliques pouvant être accumulés dans les tissus de cette espèce. La récolte d'échantillons a été menée après sélection d'un certain nombre de sites répartis à travers la ville de Bejaia, localité abritant de nombreuses sources d'émission de ces polluants, particulièrement d'origines urbains.

Ainsi, ce mémoire est organisé en trois parties.

La première fait une synthèse bibliographique donnant des généralités sur la pollution atmosphérique, le concept de la biosurveillance de la qualité de l'air ainsi qu'une présentation des particularités des lichens, en particulier l'espèce *Xanthoria parietina*.

La deuxième partie est consacrée à la présentation de la zone d'étude, le matériel utilisé et les méthodes suivies.

La troisième partie fait une synthèse des principaux résultats obtenus et leur discussion. Enfin, nous avons terminé avec une conclusion et les perspectives suggérées

## **1.1 La pollution atmosphérique**

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, 2007**).

Plusieurs définitions ont été attribuées au terme "Pollution Atmosphérique". En Algérie, elle est définie, dans l'article 3 de la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : "Pollution de l'Atmosphère : l'introduction de toute substance dans l'air ou dans l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptibles de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie, à la santé ou à la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et des monuments ou au caractère des sites" (**Bouteraa, 2014**).

### **1.1.1 Les sources de la pollution atmosphérique**

Les principales sources de la pollution atmosphérique sont soit d'origine naturelle ou anthropique (polluants générés par les activités humaines).

#### **1.1.1.1 Les émissions naturelles :**

Selon **Veillard et al. (1989)**, les polluants que l'on retrouve dans l'atmosphère peuvent être d'origine naturelle tel que ; les feux de forêts, de cultures ou de prairies, les émissions volcaniques, les embruns marins, les pollens, les spores et les champignons, les hommes et les animaux qui rejettent notamment de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, la décomposition des substances organiques qui forment du méthane, de l'ammoniac, du dioxyde d'azote et de l'hydrogène sulfuré

#### **1.1.1.2 Les émissions anthropiques :**

La plupart des activités humaines génèrent de la pollution atmosphérique, sous forme de gaz ou sous forme solide (mise en suspension de poussières). Les principales activités responsables de cette pollution sont les suivantes (**Bourgoin et Bareilles, 2000**) :

- Les installations fixes de combustion : chauffages urbains et domestiques, chaudières industrielles et centrales électriques thermiques qui dégagent de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), des oxydes d'azotes (NOx), des particules, des composés organiques volatils (COV).
- Les transports : qui génèrent une pollution à base des SO<sub>2</sub>, NOx, Pb, COV et des oxydes de carbone COx. La part des transports dans les rejets mondiaux de gaz carbonique atteint les 20%.
- Les fabrications industrielles et l'incinération des déchets à l'air libre.

### 1.1.2 Principaux polluants atmosphériques

#### 1.1.2.1 Les Polluants primaires

Par définition, 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). Le tableau suivant récapitule l'effet de ces divers polluants sur la santé humaine et l'environnement (tableau 1).

**Tableau 1** : Origine des principaux polluants primaires et leurs effets sur l'homme et l'environnement (Zenata, 2008).

Polluant	Origine	Effet sur la santé humaine	Effet sur l'environnement
CO	Combustion incomplète des combustibles et du carburant (véhicules automobiles, chaudières, etc.).	Se combine avec l'hémoglobine du sang, empêchant l'oxygénation de l'organisme, intoxications à dose importante, mortel en cas d'exposition prolongée à des concentrations très élevées.	Contribue à l'effet de serre, et favorise la formation d'Ozone.
COV	Combustion incomplète dans des moteurs ou des centrales thermiques, évaporation de produits raffinés, l'usage de solvants dans l'industrie et les peintures.	Ingérés à forte dose ils peuvent provoquer des intoxications aiguës qui se manifestent par des irritations de la peau, du nez, de la gorge et des yeux ou par des atteintes au système nerveux central. De forts soupçons de cancérogénicité pèsent sur les COV, certains pourraient	Interviennent dans le phénomène de Pollution photo chimique en réagissant avec les oxydes d'azote sous l'action des rayons ultraviolets pour former l'ozone troposphérique (O <sub>3</sub> ).

		nuire à la reproduction et au développement prénatal et postnatal.	
Particule en suspension	Ont une origine naturelle pour plus de la moitié d'entre elles (éruptions volcaniques, incendies de forêts, soulèvements de poussières désertiques) et une origine anthropique (combustion industrielle, incinération, chauffages, véhicules automobiles).	Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Par contre, Des particules de petites tailles pénètrent dans les voies respiratoires jusqu'aux alvéoles pulmonaires où elles se déposent. Elles peuvent donc altérer la fonction respiratoire des personnes sensibles, De plus, elles peuvent véhiculer des composés toxiques.	Les matières particulaires constituent l'un des principaux composants du smog.

### 1.1.2.2 Les polluants secondaires

Les polluants secondaires ne sont pas relâchés tels quels dans l'atmosphère, ils sont produits par des réactions chimiques ou photochimiques (réactions produites ou initiées par la lumière du soleil). C'est le cas de l'ozone, par exemple. Ces réactions se produisent entre polluants primaires ou entre certains polluants primaires et certains composants naturels de l'atmosphère (**Degobert, 1992**). L'ozone troposphérique est un polluant secondaire résulte de la transformation photochimique de polluants primaires (NO<sub>2</sub>, CO, etc.) sous l'effet de rayonnements ultraviolets solaires (l'ozone de la stratosphère formant à 25-30 Km d'altitude la couche d'ozone c'est le bon ozone ou ozone vital contrairement à l'ozone de la troposphère) (**Zenata, 2008**).

**Tableau 02** : Origine de quelques polluants secondaires et leurs effets sur la santé et l'environnement (**Zenata, 2008**).

Polluant	Origine	Effet sur la santé	Effet sur l'environnement
O <sub>3</sub>	Origine naturelle : érosion éolienne, sels marins, feux de forêt volcan, poussières extra-terrestre, etc. Origine anthropiques :	Polluant irritant des yeux, de la gorge, et des poumons, peut altérer la fonction respiratoire et la résistance aux infections	L'ozone contribue à l'effet de serre. Il est néfaste pour les cultures agricoles (baisses de rendements) et attaque

	Installations de combustion, Industries diverses (cimenterie, carrières, Sidérurgie et raffinage des métaux, etc.), Activités de transport – trafic routier etc.		également certains caoutchoucs
NO <sub>2</sub>	Le NO <sub>2</sub> se forme dans l'atmosphère à partir du monoxyde d'azote (NO) qui se dégage essentiellement lors de la combustion de combustibles fossiles, dans la circulation routière par exemple.	Augmentation des symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique avec exposition de longue durée au NO <sub>2</sub> , une diminution de la fonction pulmonaire aux concentrations actuellement mesurées (ou observées) dans les villes d'Europe et d'Amérique du Nord.	Le dioxyde d'azote se transforme dans l'atmosphère en acide nitrique, qui retombe au sol et sur la végétation. Cet acide contribue, en association avec d'autres polluants, à l'acidification des milieux naturels

### 1.1.3 Les paramètres influençant la dispersion des polluants

#### 1.1.3.1 Facteurs météorologiques

Le climat est identifié comme un facteur influant sur la qualité de l'air, ayant un impact sur le comportement des polluants dans l'atmosphère. La qualité de l'air n'est pas seulement dépendante de la quantité de polluants émise par les sources, elle est également liée aux conditions climatiques, météorologiques, topologiques et morphologiques du milieu. Une fois émise par une source de polluant, son évolution dans l'atmosphère est dépendante du vent, de la stabilité de l'atmosphère, du rayonnement solaire, de la topographie et morphologie du milieu (INSP, 2007).

##### a) Le vent :

Le vent, sa vitesse, sa direction sont très importants. Un vent fort permet de disperser les polluants. De ce fait, de fortes concentrations sont peu probables dans ces conditions. Toutefois, il peut également amener des masses d'air contenant des polluants en provenance d'autres sources. La direction du vent joue un rôle important dans le déplacement des polluants. Son rôle s'explique plus dans sa relation avec la topographie du site. En effet, la direction du vent influence directement le déplacement de polluant. Si le vent est stoppé par un obstacle, tel qu'un

versant de montagne, on peut assister à une stagnation de polluant sur ce flanc, ou une remontée de la pollution sur le versant (**Deletraz et Paul, 1998**).

**b) La température**

La température agit sur la chimie des polluants. Le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est favorable à la formation photochimique de l'ozone. La température a un effet sur la vitesse de déplacement et de réaction des molécules. Plus la température est élevée, plus les molécules ont de chances d'entrer en collision puisqu'elles se déplacent plus rapidement. De même, plus la température est élevée, plus les collisions produisent de réaction. Autrement dit, une hausse de la température accroît la vitesse des polluants de l'air (**Zenata, 2008**).

**c) L'humidité**

L'humidité joue un rôle dans le «captage» des particules polluantes, les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation (**Deletraz et Paul, 1998**). La présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère est considérée comme un facteur météorologique défavorable au phénomène d'auto purification de l'atmosphère parce qu'elle empêche la dispersion des polluants (**Barnea et Ursu, 1974**).

**d) Les précipitations**

La pluie lave l'atmosphère des particules et des gaz, pour les déposer ensuite sur le sol et dans l'eau ; les précipitations sont généralement associées à une atmosphère instable, qui permet également une bonne dispersion de la pollution atmosphérique. Elles peuvent parfois accélérer la dissolution de certains polluants. Mais, globalement, les concentrations en polluants dans l'atmosphère diminuent nettement par temps de pluie notamment pour les poussières et les éléments solubles tel que le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) (**Guibert et Martin, 1987**).

**1.1.3.2 Facteurs topographiques**

Les effets de la topographie sont aussi importants dans les mécanismes de diffusion et dispersion des polluants. La stabilité atmosphérique combinée à une topographie complexe empêche la circulation de l'air et donc l'évacuation des polluants (**Deletraz et Paul, 1998**).

La topographie d'un site peut influencer la circulation des masses d'air. Par exemple, les rues canyon, les bords de mer et les vallées peuvent modifier la dispersion des polluants. Sur les zones littorales, la nuit, les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens que de jour. En

effet, durant la journée la brise de mer ramène les polluants sur les côtes. Mais de nuit, ce phénomène s'inverse car le sol se refroidit plus vite que la mer. La pollution est alors envoyée sur la mer (**Belarbi, 2019**).

#### **1.1.4 Échelles d'émission de polluants atmosphériques**

Les phénomènes de pollution atmosphérique concernent différentes échelles. A chaque échelle, les polluants qui ont un impact ne sont pas identiques, ils diffèrent notamment par leur durée de vie dans l'atmosphère et leur dynamique physico-chimique.

Lorsqu'une fraction des polluants retombe dans un faible rayon autour du point d'émission, on dit qu'on a une pollution d'ordre locale. Mais le reste des polluants en se dispersant dans la basse couche de l'atmosphère, provoquant ainsi une contamination atmosphérique à l'échelle régionale. Ces polluants peuvent pénétrer dans les couches plus élevées de l'atmosphère à la faveur de mouvements ascendants, ils sont susceptibles de parcourir des distances allant jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres. On parle alors de pollution atmosphérique transfrontière (**Foan, 2012**).

##### **1.1.4.1 Echelle local**

La pollution dite de proximité est principalement due à des sources fixes (panache industriel ou résidentiel) ou mobiles (échappements dus au trafic routier). Elle est souvent associée à des phénomènes perceptibles par la vue ou l'odorat, et les polluants en jeu ont une durée de vie assez courte dans l'atmosphère. Dans le cas d'activités denses, les niveaux de pollution élevés peuvent couvrir des agglomérations entières (**Bouteraa, 2014**).

##### **1.1.4.2 Echelle régional**

Les pollutions urbaines ou industrielles peuvent parcourir des distances importantes et impacter les banlieues des agglomérations ou même le milieu rural. Cela concerne particulièrement les polluants dits « secondaires » comme l'ozone (phénomène de pollution photochimique) ou encore les retombées sous forme de pluies acides. Ces retombées peuvent être observées à plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres de leur lieu d'émission (**Bouteraa, 2014**).

##### **1.1.4.3 Echelle planétaire**

A cette échelle, Deux phénomènes principaux de pollution ont été mis en évidence, la destruction de l'ozone stratosphérique, ou « trou » dans la couche d'ozone. Le réchauffement ou dérèglement climatique, dû à l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine humaine. A cette

échelle, le lieu d'émission importe peu : tous les composés émis vont s'accumuler dans l'atmosphère et y persister pendant plusieurs dizaines voire centaines d'années en participant aux impacts planétaires (**Bouteraa, 2014**).

## **1.2 Pollution atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques**

La pollution atmosphérique représente une préoccupation mondiale majeure à cause du réchauffement climatique observé depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, mais aussi en raison du lien établi entre les polluants atmosphériques et de nombreux problèmes de santé tels que des problèmes respiratoires, cardiovasculaires ou encore neurologiques (**Curtis, 2006**).

Le trafic automobile, les activités industrielles et les autres activités de l'ère moderne représentent les principales sources d'émission de polluants dans l'air, le sol et l'eau. Dans ces émissions, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) représentent une classe centrale de toxines environnementales (**Abdel-Shafy et Mansour, 2016**).

Depuis la révolution industrielle la concentration des HAPs l'environnement a considérablement augmenté, provenant principalement des émissions anthropiques par exemple la combustion incomplète de combustibles fossiles. L'importance environnementale des HAP réside dans leur potentiel à former des diols et des époxydes cancérigènes et mutagènes qui réagissent avec l'ADN (**Shukla et Upreti, 2009**).

### **1.2.1 Présentation des HAPs :**

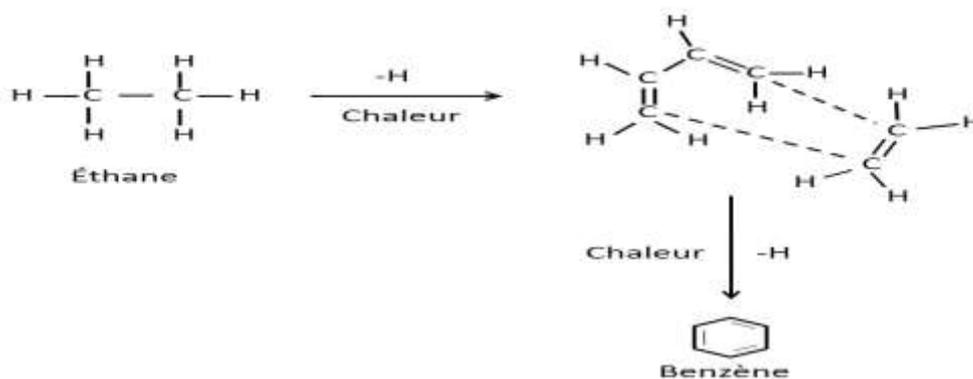
Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés organiques de poids moléculaire élevé (PM) (**Desalme, 2011**). Ils font partie des Polluants Organiques Persistants (POPs), définis par le protocole d'Aarhus (1998) et la convention de Stockholm (2001), Ils constituent un groupe omniprésent de plusieurs centaines de composés chimiquement apparentés, et sont généralement présents sous forme de mélange contenant deux ou plusieurs de ces composés, persistants dans l'environnement avec des structures diverses et une toxicité variée (**Abdel-Shafy et Mansour, 2016**).

Il existe un très grand nombre d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (plus de 1000) mais 16 sont majoritairement étudiés car classés prioritaires par la liste de l'US-EPA

(figure 04) (Paris, 2018) fait de leurs propriétés et de leur toxicité au sens large (effets systémiques + effets cancérigènes) (Chahin, 2010).

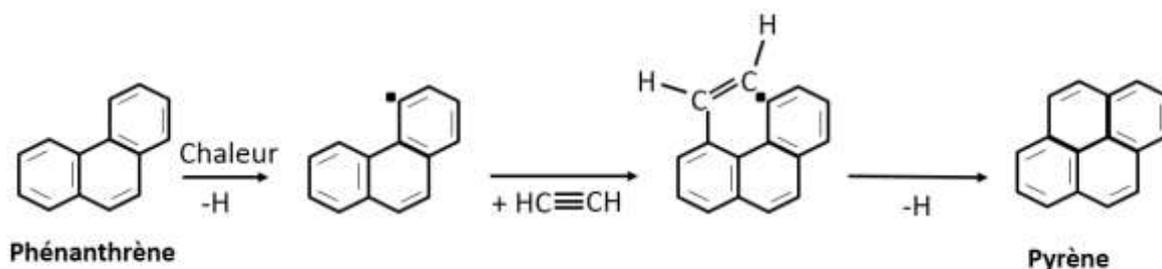
### 1.2.2 Formation des HAPs

Les hydrocarbures aromatiques sont généralement issus de combustions incomplètes. Les deux principaux mécanismes de formation des hydrocarbures aromatiques sont la pyrosynthèse et la pyrolyse (Kislov, 2013). Les hydrocarbures aromatiques peuvent être synthétisés, dans des conditions déficitaires en oxygène, à partir d'hydrocarbures saturés, tels que l'éthane (figure 01).



**Figure 01** : Pyrosynthèse du benzène à partir de l'éthane (Ravindra *et al.*, 2008).

Les hydrocarbures monocycliques peuvent ensuite être à l'origine des HAP grâce à une pyrosynthèse. A une température excédant 500 °C, les liaisons carbone/carbone et carbone/hydrogène sont rompues et forment des radicaux libres. La combinaison de l'acétylène à ces radicaux crée alors les structures aromatiques (figure 02) (Kislov, 2013).



**Figure 02** : Formation du pyrène par combinaison de l'acétylène avec le radical phénanthrène (Kislov, 2013).

En ce qui concerne la pyrolyse des hydrocarbures aromatiques, les produits primaires sont principalement des composés phénoliques. La réaction de dégradation pyrolytique du phénol implique tout d'abord l'élimination de monoxyde de carbone à partir du carbone porteur de la

fonction hydroxyle. Les radicaux cyclopentadiéniques s'associent ensuite deux à deux pour former la tétraline dont la décomposition thermique conduit au naphthalène (figure 03) mais également à la plupart des hydrocarbures aromatiques (Cypres, 1975).

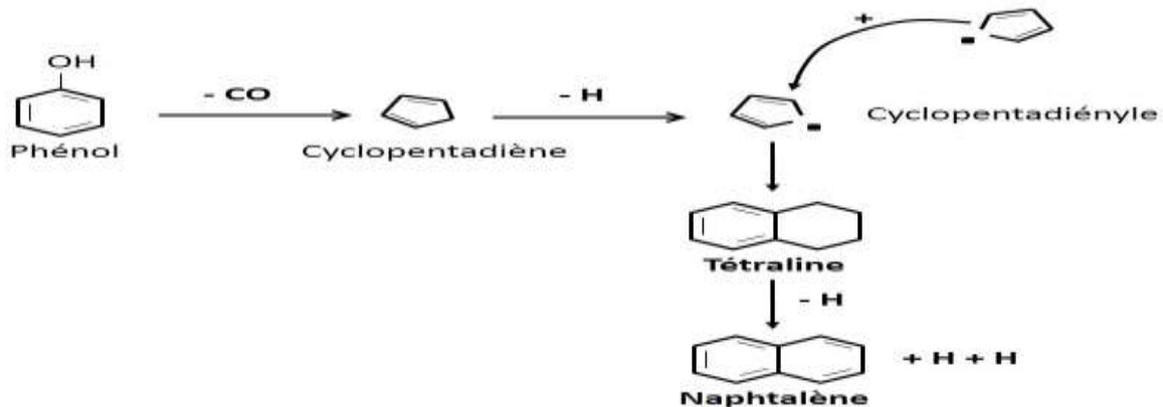


Figure 03 : Formation du naphthalène par pyrolyse à partir du phénol (Sharma, 2003).

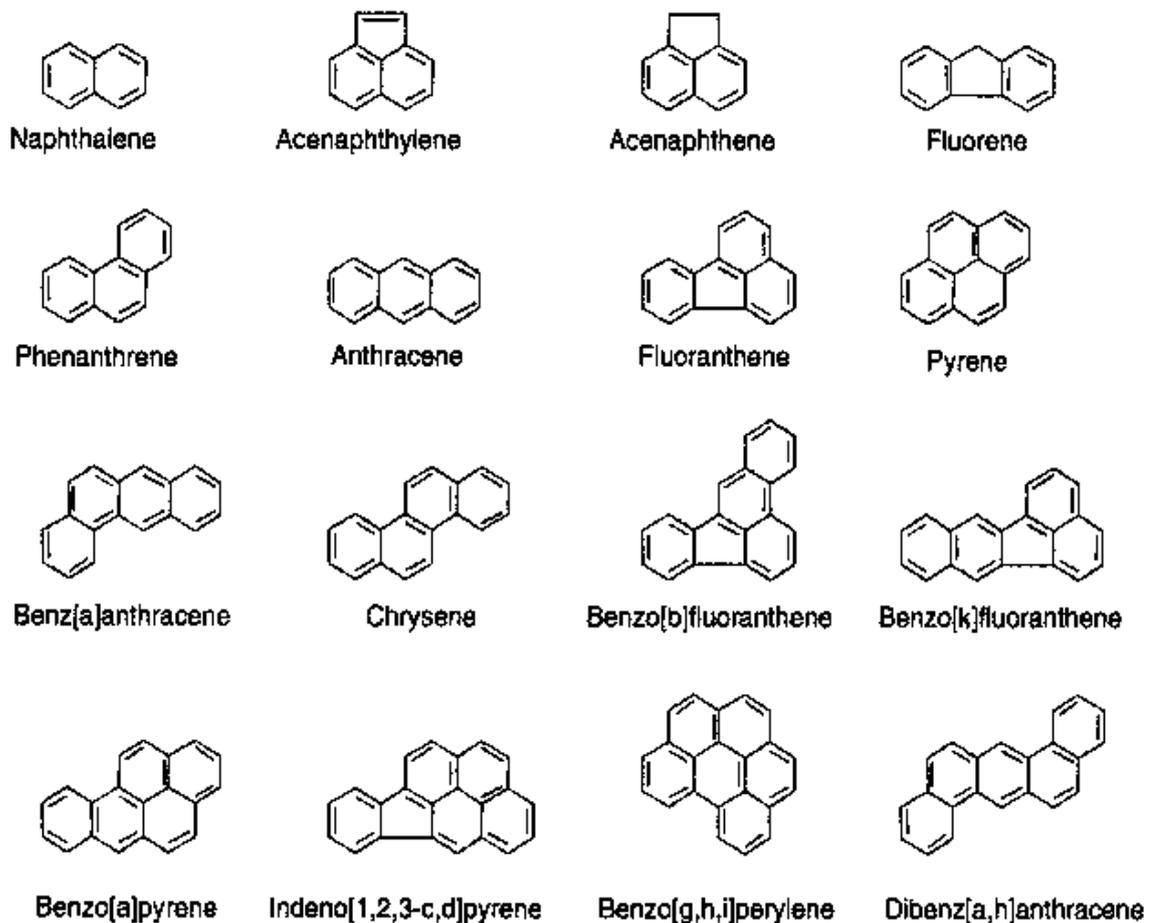
### 1.2.3 Structure et propriétés physico-chimique des HAPs

Le terme "HAP" désigne des composés constitués uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Chimiquement, les HAP sont constitués de deux ou plusieurs cycles benzéniques liés selon des arrangements linéaires, en grappe ou angulaires (Abdel-Shafy et Mansour, 2016).

Les HAPs sont des polluants semi-volatiles, qui se partagent entre les phases gazeuses et liquides, selon leurs constant de Henry ( $K_H$ ). Leurs propriétés physico-chimiques varient selon leur poids moléculaires et selon l'arrangement stérique des cycles aromatiques (Desalme, 2011). Les plus volatils, c'est-à-dire ceux de faible poids moléculaire (2 à 3 cycles), restent généralement en phase gazeuse, tandis que les HAP à point d'ébullition élevé, c'est-à-dire ceux qui ont un poids moléculaire élevé (5-6 cycles), sont adsorbés sur des particules solides. Les HAP à 4 cycles ont un comportement intermédiaire (Edwards, 1983).

Ce sont des composés lipophiles, hydrophobes, apolaires et neutres. Possèdent une bonne solubilité dans les solvants organiques et sont faiblement solubles dans l'eau (Paris, 2018 ; Bouzid, 2019). D'une façon générale, leur solubilité et leur volatilité diminuent, alors que leur hydrophobicité augmente avec leur poids moléculaire. Ils sont persistants dans l'environnement

comme en témoignent leurs durées de demi-vie (de plusieurs semaines jusqu'à 5 ans pour le pyrène) (Desalme, 2011).



**Figure 04 :** Structure chimique de 16 HAP jugés à risques par l'U.S.E.P.A. (Amir *et al.*, 2005).

#### 1.2.4 Origine d'HAPs dans l'atmosphère

Les HAPs sont émis dans l'atmosphère principalement lors de la combustion incomplète de la matière organique. Les sources de combustion peuvent être naturelles ou anthropiques (Abdel-Shafy et Mansour, 2016).

##### 1.2.4.1 Sources naturelles

Les sources naturelles des HAPs comprennent les combustions non anthropiques des forêts, Des bois et des landes dues à la foudre (Baumard *et al.*, 1999). Les éruptions volcaniques peuvent également émettre des HAP, Wild et Jones (1995) ont estimé que la contribution de ces sources à l'ensemble des émissions de HAPs pourrait être négligeable. Selon Neff (1979) dans la nature les HAPs peuvent être formés de trois façons :

- Pyrolyse à haute température de matières organiques.
- Diagenèse à température faible à modérée de la matière organique sédimentaire pour former des combustibles fossiles.
- Biosynthèse directe par des microbes et des plantes.

#### **1.2.4.2 Sources anthropiques**

Selon **Ravindra et al (2008)**, il existe quatre grandes sources d'émission de HAP, à savoir les sources suivantes : domestiques, mobiles, industrielles, agricoles.

##### **a) Les émissions domestiques :**

Les émissions domestiques sont principalement associées à la combustion de charbon, de pétrole, de gaz, d'ordures ménagères ou d'autres substances organiques comme le tabac ou la viande grillée (**Smith, 1987**).

##### **b) Les émissions agricoles :**

Le brûlage à l'air libre de la biomasse est une méthode courante pour l'élimination des résidus de culture et de forêt et la préparation des terres. Cependant, le brûlage des déchets agricoles est une source de HAP atmosphériques. Toutes ses activités impliquent la combustion de matières organiques dans des conditions de combustion non optimales. Ainsi, On peut s'attendre à ce qu'une quantité significative de HAPs est produite) (**Godoi et al., 2004**. Récemment des études ont été réalisées sur l'émission de HAP particulaires pendant le brûlage de la canne à sucre. Et les niveaux se sont avérés comparables avec certains centres urbains (**Godoi et al., 2004**).

##### **c) Les émissions mobiles**

Le secteur des transports représente la deuxième source d'émission des HAPs dans le monde à hauteur de 13 % (**Shen et al., 2013**). Elle dépendra notamment du type de transport (fluvial, aérien, routier) et de la nature du carburant utilisé (**Tomaz, 2015**).

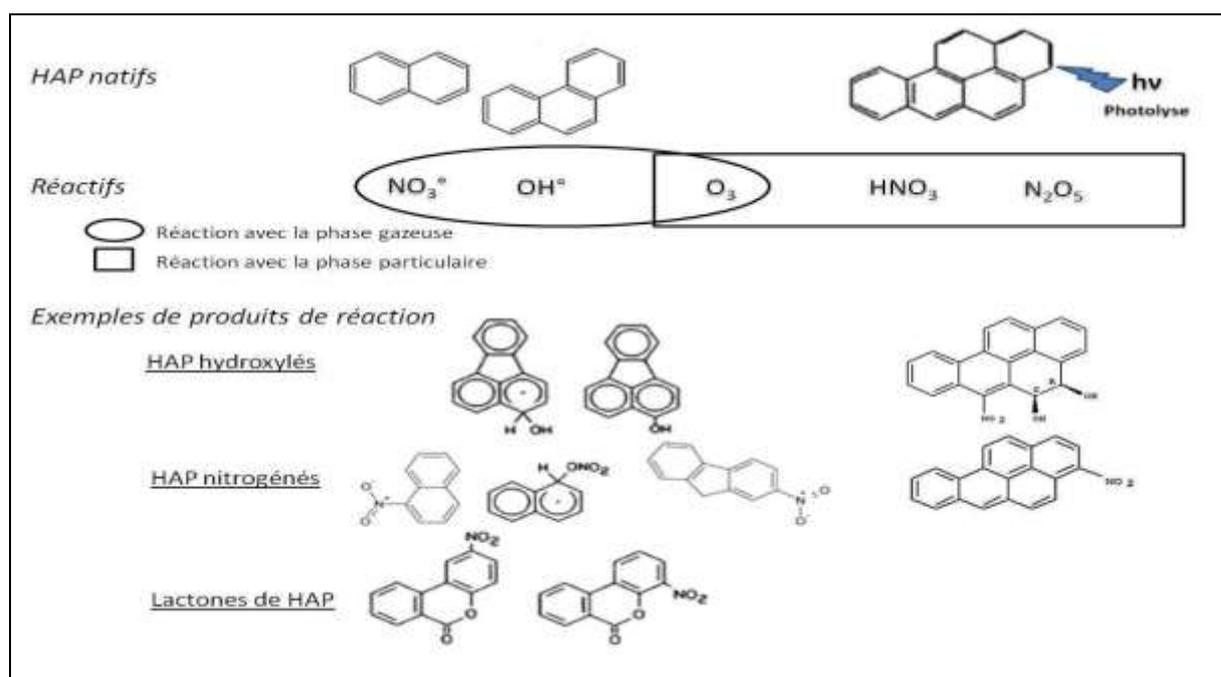
##### **d) Les émissions industrielles**

Les sources industrielles les plus importantes de HAP comprennent la production d'aluminium primaire (usines utilisant le procédé Soderberg), la production de coke (par exemple, dans le cadre de la production de fer et d'acier), créosote et la préservation du bois, l'incinération des déchets, la fabrication du ciment, la pétrochimie et les activités connexes. Les

industries du bitume et de l'asphalte, la fabrication de pneus en caoutchouc et la production commerciale de chaleur et d'électricité, de pneus en caoutchouc (**PAHs position paper, 2001**).

### 1.2.5 Devenir des HAP atmosphériques dans l'air

Dans la partie la plus basse de l'atmosphère appelée la troposphère, les HAP sont soumis à différentes réactions photochimiques de dissipation, de dégradation et de transformations. Les HAP particulaires sont soumis à la photolyse qui constitue le processus de dissipation principal auquel les HAP gazeux semblent insensibles (**Arey et Atkinson, 2003**). Les réactions de photolyse dans la troposphère sont par ailleurs responsables de la formation de nombreuses espèces photo-oxydantes, comme l'ozone ( $O_3$ ), les radicaux hydroxyles ( $OH^\bullet$ ) et les radicaux nitrates ( $NO_3^\bullet$ ). Les HAP natifs peuvent subir de nombreuses réactions chimiques dans la troposphère avec des réactifs (Figure 05). Les HAP gazeux peuvent participer à des réactions avec  $NO_3^\bullet$  et  $OH^\bullet$ . Les HAP particulaires réagissent avec  $HNO_3$ ,  $N_2O_5$ . Seul  $O_3$  intervient dans des réactions impliquant des HAP sous forme gazeuse et particulaire (**Desalme, 2011**).



**Figure 05:** Réactions chimiques des HAP dans l'atmosphère (**Arey & Atkinson 2003**).

Les produits de réaction sont plus mutagènes que les HAP natifs. Par exemple, les HAPs nitrogénés (**Soderstrom et al., 2005**), connus pour être hautement cancérigènes peuvent être issus de différents types de réaction, à savoir :

- Les réactions radicalaires des HAP sous forme gazeuse, où l'élément OH° intervient pendant la phase diurne et NO<sub>3</sub>° pendant la phase nocturne.
- Les réactions électrophiles des HAP sous forme particulaire avec comme réactifs N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et HNO<sub>3</sub>.

Les isomères formés dépendent de la nature du composé natif (gaz ou particule), des types de réactions induits et des concentrations des différents éléments impliqués (**Desalme, 2011**).

### **1.2.6 Dépôts atmosphériques**

Les HAP contaminent les compartiments environnementaux par les dépôts atmosphériques secs de gaz et de particules (**Srogi, 2007**). Les dépôts humides de HAP, c'est-à-dire la solubilisation des HAP dans l'eau de pluie ou le brouillard, sont limités du fait de leur hydrophobicité. Les dépôts atmosphériques dépendent déjà de la nature du HAP considéré, en particulier de sa répartition entre phase gazeuse et particulaire dans l'atmosphère. Les processus de dépôts des HAP gazeux dépendent des variables environnementales et des propriétés du compartiment exposé. Les mécanismes de dépôt des particules dépendent de leur force de gravité, des vents dominants (vitesse et direction) et de la morphologie de la zone réceptrice (présence d'obstacles : constructions, bâtiments, cultures ou forêts).

Ensuite, la localisation des dépôts varie selon la distance à la source. Les HAP gazeux sont plus susceptibles de subir un transport à très longue distance et d'être retrouvés dans les sites éloignés de toute source d'émission (*remote area*), tandis que les HAP particulaires restent plus près des sources (**Nam et al., 2008**). Cela est dû au fait que les HAP gazeux peuvent être émis à la fois par des sources primaires (combustions) et par des sources secondaires (compartiments environnementaux tels que le sol ou les végétaux) desquelles ils se volatilisent en fonction des conditions climatiques, en particulier en fonction de la température (**Desalme, 2011**).

### **1.2.7 Impacts des HAPs**

#### **1.2.7.1 Impacts sur l'environnement**

Dans l'environnement, la contamination des sols et des eaux par les hydrocarbures, est généralement causée par des écoulements et des émissions atmosphériques. Les HAPs du sol peuvent être transférés à la faune du sol soit directement par ingestion ou contact dermique, soit indirectement par ingestion de matériel végétal contaminé. Les données expérimentales

disponibles chez l'animal ont montré des effets néfastes sur la santé, tels que des effets hépatiques, hématologiques, immunologiques et le développement d'athéroscléroses, des effets sur la reproduction, génotoxiques et cancérigènes (**Leoz-Garziandia, 2001**). A cause de leur faible dégradabilité et leur stabilité, certains HAP s'accumulent dans les organismes vivants et donnent lieu à de l'amplification biologique dans les chaînes trophiques (**Bouزيد, 2019**).

### **1.2.7.2 Impact sur la végétation**

Les contaminants organiques, considérés comme des micropolluants car ils sont présents en faibles concentrations, peuvent néanmoins exercer des effets toxiques et engendrer un stress chez les végétaux à partir du moment où ils parviennent à pénétrer dans les tissus internes à partir soit des racines soit des feuilles (**Verkleij et al., 2009**).

Les HAPs sont lipophiles et peuvent s'accumuler dans la végétation. Les plantes sont exposées aux HAPs par deux voies majeures, une voie racinaire et une voie foliaire. Dans la voie racinaire, les HAPs pénètrent passivement dans les cellules par osmose. Ce mode de captation est plus influencé par la concentration en HAP que par leur nature (**Khelil, 2016**). Dans la seconde voie, les HAPs s'accumulent sur la surface des feuilles, s'accumulent dans la cire cuticulaire ou diffusent à l'intérieur de la plante. Les polluants gazeux en particulier les HAPs de 2 à 4 cycles, pénètrent dans les plantes par les stomates. Les poussières contenant de plus grosses particules de HAP s'accumulent sur les parties aériennes des plantes, et notamment sur les feuilles, où elles sont piégées dans la cuticule. Les feuilles ne sont pas l'unique point de pénétration des polluants au niveau des parties aériennes. Les bourgeons floraux ou végétatifs, les cicatrices foliaires, les lenticelles, les écorces et les blessures peuvent servir aussi de point de pénétration des polluants (**Tankari Dan-Badjo, 2007**).

Il existe des effets biologiques et physiologiques communs aux deux modes d'exposition par voie racinaire et foliaire: une diminution de biomasse, une perturbation de la photosynthèse et l'induction d'un stress oxydatif (**Desalme, 2011**).

### **1.2.7.3 Impact sur la santé humaine**

La population humaine est exposée aux HAP par ingestion, inhalation (**Desalme, 2011**). La principale voie d'exposition aux HAP dans la population générale provient de la respiration de l'air ambiant et intérieur, de la consommation d'aliments contenant des HAP (viande, poissons, produits de la mer, produits laitiers, œufs), fumer des cigarettes ou respirer de la fumée

des cheminées ouvertes (Acgih, 2005). La fumée de tabac contient une variété des HAP, tels que le benzo(a)pyrène, et plus de 40 ou suspectés d'être cancérigènes pour l'homme (Lannero et al., 2008).

L'exposition varie au niveau individuel selon le lieu (continent, pays, région, zone rurale/urbaine/ industrielle, densité de trafic) et les habitudes de vie (consommation de viandes grillées, tabagisme). Dans le cadre d'activités professionnelles, certains travailleurs sont particulièrement exposés aux HAP par voie cutanée et /ou aérienne (ouvriers dans les cokeries, les raffineries d'aluminium, employés de voirie, mécaniciens, garagistes, et personnes travaillant à la réhabilitation des sols pollués). Les concentrations en BaP auxquelles ces travailleurs sont exposés peuvent dépasser les 20-40 µg m<sup>-3</sup> (EPAQS, 1999).

La surveillance biologique d'exposition aux HAP est d'un intérêt primordial, en raison de la diffusion de ces composés et à leur toxicologie pertinente. Cependant, les effets sur la santé des HAP individuels ne sont pas exactement pareils. En effet, le Centre international de recherche on Cancer (IARC, 2010) classe certains HAP comme connus, possiblement ou probablement cancérigène pour l'homme (groupe 1, 2A ou 2B). Parmi ceux-ci sont le benzo[a]pyrène (Groupe 1), le naphtalène, le chrysène, le benz[a] anthracène, benzo[k]fluoranthène et benzo[b]fluoranthène (Groupe 2B). Certains HAP sont bien connus comme cancérigènes, mutagènes et tératogènes et constituent donc une menace sérieuse à la santé (Kim et al., 2013).

## **2 La biosurveillance de la qualité de l'air**

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

Selon **Garrec et Van Haluwyn (2002)**, la biosurveillance est définie 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 » ; quatre concepts y sont intégrés : l'utilisation de biomarqueurs, la bioindication, la biointégration et la bioaccumulation.

## **2.1 Les concepts de la biosurveillance**

### **2.1.1 Le biomarqueur**

Selon **Lagadic et al (1997)** : « un biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant ». Leur intérêt tient en ce que ces modifications de structure ou ces réactions métaboliques permettent d'évaluer qualitativement, et même quantitativement, si la concentration de contaminant commence à se manifester des effets clandestins de la toxicité sur les organismes exposés (**Ramade, 2006**). L'utilisation de biomarqueurs repose par exemple sur le suivi de la fluorescence de la chlorophylle, de l'activité photosynthétique (**Catalyud et Barreno, 2004**).

### **2.1.2 Le bio-indicateur**

Observation visuelle des réponses biologiques (morphologique, physiologique, tissulaire...) d'un organisme vivant (se place au niveau individuel) exposé à un contaminant, Chez les végétaux cela se traduit par des nécroses, des chloroses, des malformations florales et foliaires, des perturbations de la croissance, reproduction ..., C'est une méthode rapide, simple et économique (**Garrec et Van Haluwyn, 2002 ; Cuny, 2012**).

### **2.1.3 Le bio-intégrateur**

La biointégration permet d'évaluer les effets à long terme sur les communautés par l'étude de la densité et de la diversité spécifique de populations au sein d'écosystèmes. Les organismes sentinelles utilisés sont généralement les végétaux supérieurs, les bryophytes et les lichens (**Takahashi et Miyajim, 2010**).

### **2.1.4 Le bioaccumulateur**

La bioaccumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire si elle est toxique à ce dernier. Les bioaccumulateurs sont des organismes

utilisés pour leur capacité d'accumuler les polluants atmosphériques au sein de leurs tissus et cela sans atteinte physiologique à court terme. Ce sont donc des espèces moins sensibles aux polluants (Cuny, 2012).

## **2.2 Les approches de la biosurveillance.**

La biosurveillance de la qualité de L'air est utilisée de deux méthodes différentes selon les situations auxquelles on est confronté (afin d'augmenter la performance du diagnostic, on utilisera simultanément ces deux approches) (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

### **2.2.1 La méthode passive**

C'est une approche intégrée ou in situ : cette méthode est basée sur l'utilisation de végétaux en place ou bien l'observation des organismes présents naturellement dans l'environnement étudié. C'est une méthode rapide,

Elle est principalement utilisée pour observer les impacts à long terme, en tenant compte des conditions écologiques et climatiques (Conti et Cecchetti, 2001; Garrec et Van Haluwyn, 2002).

### **2.2.2 La méthode active**

Autrement nommé la méthode des transplants : c'est la mise en place sur un site pendant une période donnée de végétaux génétiquement sélectionnées et cultivés dans des conditions standardisées, La transplantation est une technique expérimentale où les organismes utilisés sont transférés d'un environnement non pollué vers un site pollué (Cuny et al., 2008).

## **2.3 Avantages et limites de la biosurveillance**

Il apparaît pertinent de coupler les différentes méthodes de biosurveillance en s'intéressant aux apports de chacune d'entre elles. Par exemple, des études sur le long terme tendent à montrer une réponse plus lente de la flore lichénique (bioindication) face aux modifications des concentrations en polluants atmosphériques (bioaccumulation) (Loppi et al., 1998). Selon Agnan (2013) les principaux avantages qu'offre la biosurveillance sont :

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

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

En revanche, ces outils posent un certain nombre de questions à ce jour non résolues qu'il est impératif de limiter pour une meilleure interprétation (Agnan, 2013) :

- l'absence de précision sur l'enregistrement spatial : pollution locale ou pollution de fond,
- l'absence de précision sur l'enregistrement temporel
- l'effet d'un polluant peut être masqué par le polluant dominant et/ou le plus néfaste,
- l'impossibilité de remonter à la concentration en polluant dans le milieu atmosphérique,
- la difficulté de trouver des matrices biologiques dans les environnements trop pollués,
- le manque de données sur les effets biologiques causées par les contaminants.

## **2.4 La biosurveillance de la qualité de l'air par les lichens**

William Nylander (1822 - 1899), botaniste finlandais, a été le premier à faire le lien entre la diversité en lichens d'un lieu et la qualité de l'air après des observations effectuées au jardin du Luxembourg à Paris. Depuis ces travaux publiés en 1866, les lichens ont été utilisés dans différents contextes pour évaluer la qualité de l'air. Si ces organismes réagissent rapidement à cette contrainte environnementale, c'est à cause de leur grande dépendance biologique à l'atmosphère : absence de cuticule de protection, absence de système racinaire, absence de système d'excrétion, activité quasi annuelle... (Agnan, 2013).

## **3 Présentation des lichens**

Les lichens sont des organismes symbiotiques constitués d'un champignon (mycobionte) et d'une algue (photobionte). Ces deux partenaires sont indispensables l'un à l'autre, ils peuvent coloniser tout type de milieux (par exemple le sol, les roches ou les arbres) et former de magnifiques compositions sur les roches et les troncs d'arbres (Agnan, 2013). Leur thalle ou appareil végétatif présente une morphologie originale par rapport à celle des algues et des champignons qui le composent (Van Haluwyn et Lerond, 1993).

Il existe environ 18 500 espèces de lichens (**Feuerer et Hawksworth, 2007**). En Algérie environ 1085 espèces de lichens sont identifiés (**Ait Hammou et al., 2014**). Un lichen est une structure autonome, l'association lichénique apporte des propriétés que les deux partenaires n'ont pas individuellement (**Markert et al., 2003**).

### **3.1 Les partenaires de la symbiose lichénique et leurs rôles**

#### **3.1.1 Le mycobionte**

Les champignons responsables de la formation de lichens sont appelés mycobiontes de Lichens. (**Van haluwyn et Lerond 1993**) joue un rôle dans la symbiose lichénique du fait qu'il protège les cellules algales contre la dessiccation, grâce à ses hyphes qui sont en relation directe avec l'atmosphère et le substrat, ils captent l'eau et les sels minéraux qu'il transfère vers le photosymbiote (figure 06) (**Van Haluwyn et al, 2009**) c'est lui qui va offrir en particulier la possibilité de la reproduction sexuée et qui joue un rôle prépondérant dans la morphologie.

Dans 99 % des cas, le mycobionte fait partie des ascomycètes; le lichen est alors appelé ascolichen (**Feuerer and Hawksworth, 2007**). Lorsqu'il s'agit d'un basidiomycète, le lichen est nommé basidiolichen. (De 1 à 2 % des lichens sont des basidiomycètes) (**Honegger, 2008**)

#### **3.1.2 Le photobionte**

Les algues constituant les lichens sont appelés photobionte (**Van haluwyn et Lerond 1993**), Capable de photosynthèse (comme les plantes vertes) divers produits organiques tels les sucres, et les cède par la suite au mycobionte (**Collombert, 1989**). Dans 90% des cas, il appartient à la classe des chlorophycées (ou algues vertes) (**Van Haluwyn et al, 2009**). Près de 40 genres d'algues et de cyanobactéries ont été rapportés comme photobiontes dans les lichens *Trebouxia*, *Trentepohlia* et *Nostoc* sont les photobiontes les plus fréquents (**Friedl and Büdel. B., 2008**).

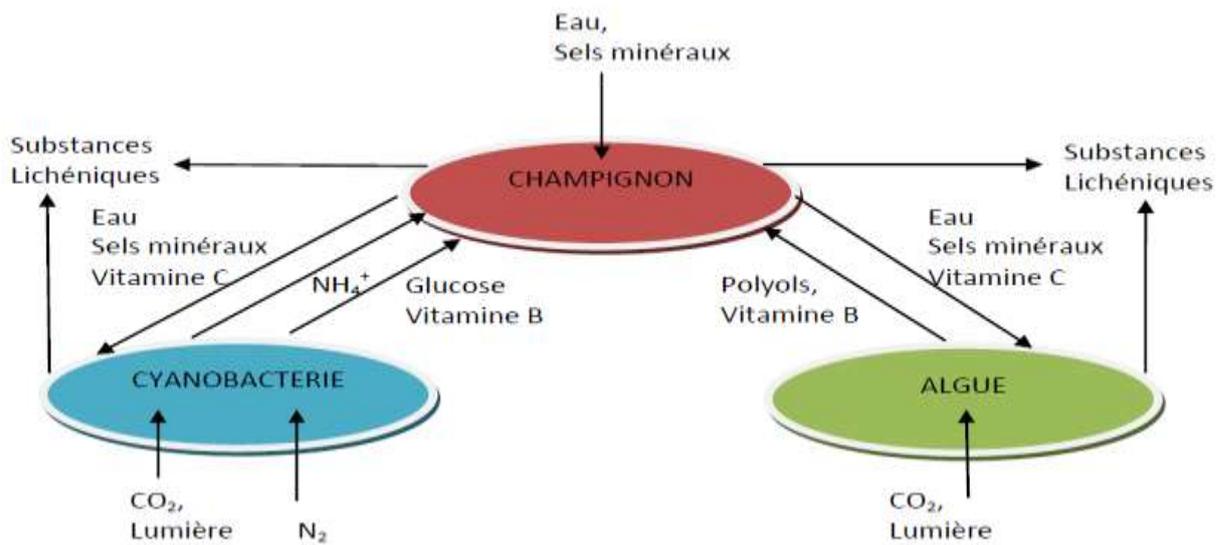


Figure 06 : Échanges nutritionnels entre les partenaires des lichens (Van Haluwyn et al., 2009).

### 3.2 Structure anatomique des lichens

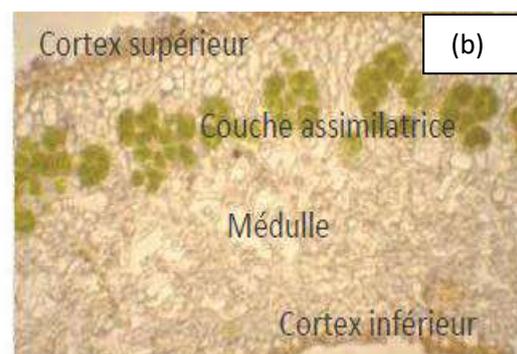
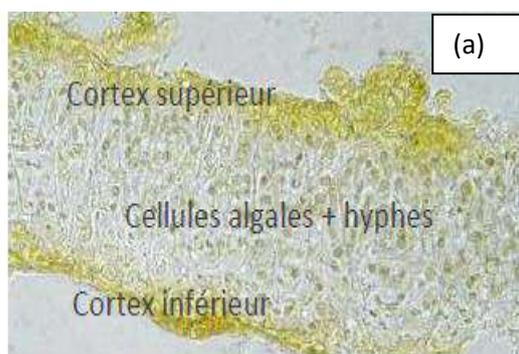
On peut distinguer deux catégories fondamentales de structures (Aprile et al., 2011) :

#### a) Structure homéomère :

Selon Douibi (2020), Cette structure est dite de type "homéomère" car le champignon et la cyanobactérie sont entremêlés de façon homogène dans toute l'épaisseur du thalle Comme chez les Collema (figure 07 a).

#### b) Structure hétéromère :

C'est une structure dans laquelle le mycobionte constitue le partenaire dominant de la symbiose lichénique et c'est donc lui qui organise cette structure, Bien plus fréquente, elle se distingue de la précédente par la différenciation de plusieurs couches superposées, bien visibles sur une coupe transversale (figure 07 b) (Clauzade et Roux, 1987).



**Figure 07** : Structure anatomique des lichens : structure homéomère (a), structure hétéromère (b) (Aprile et al., 2011).

### 3.3 Morphologie et anatomie des lichens

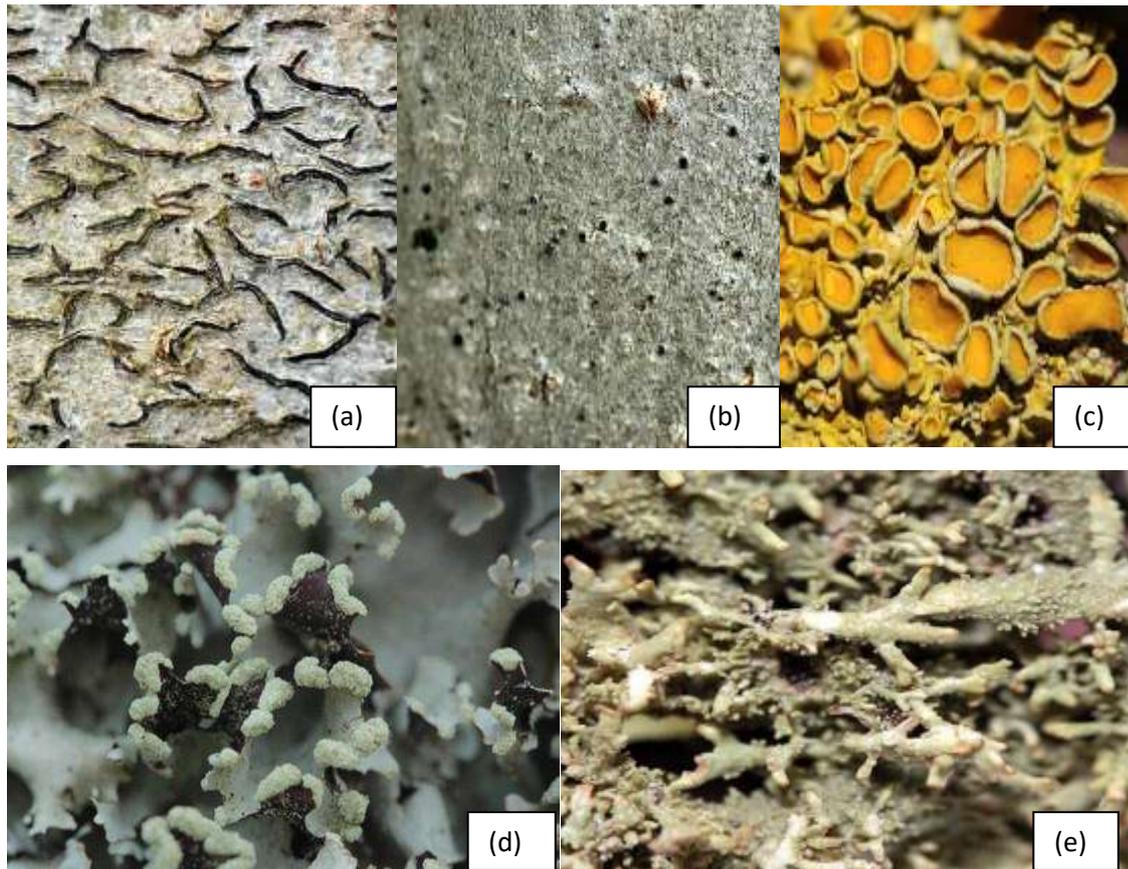
Les lichens sont des thallophytes ; leur appareil végétatif est donc un thalle ne présentant ni feuilles ni tiges ni racines, ni appareil conducteur. Le thalle constitue l'essentiel du lichen et porte les organes reproducteurs (**Déruelle et Lallemant, 1983**).

Selon **Van Haluwyn et Lerond (1993)**, les thalles des lichens ont des formes très variées, mais parmi lesquelles on distingue six types morphologique : fruticuleux, foliacés, squamuleux, crustacés, gélatineux, complexes, tout en sachant qu'il ne s'agit là que d'une classification arbitraire, et que des types intermédiaires existent.

### 3.4 Reproduction des lichens

Les lichens sont des organismes cryptogames, ce qui signifie que les organes reproducteurs sont « cachés ». Deux modes de reproduction peuvent être observés chez les lichens (sexuée et asexuée).

- La reproduction sexuée ne fait intervenir que le champignon. Elle s'opère via l'apothécie, la lirelle et le périthèce) (fig 14 a, b et c). Celles-ci produisent les spores qui, émises dans l'air, se développeront après la rencontre avec une algue appropriée.
- La reproduction asexuée est un processus mettant en œuvre les deux symbiotes à la fois (**Van Haluwyn et Lerond, 1993**), elle se fait par dissémination du complexe lichénique lui-même : par « bouturage » de fragments de thalle ou intervention de deux structure particulières : les soralies (amas poudreux libèrent des soredies) et des isidies (excroissances du thalle) (fig d et e). Ces fragments lichénique sont transportés par le vent et peuvent, en condition favorables, coloniser de nouveaux milieux



**Figure 08 :** Organes reproductifs des lichens : (a) lirelles, (b) peritheces , (c) apothecies, (d) soralies, (e) isidies (Agnan, 2013).

### 3.5 Croissance et longévité des lichens

La croissance des lichens est généralement très lente et liée au type de thalle, des études indiquent que les plus gros lichens foliacés et fruticuleux peuvent croître à un taux allant de 10 à 30mm/an et que les lichens crustacés poussent à un taux un peu plus lent de 0.5 à 3mm/an (Steven et Stephenson, 2010).

La vitesse de croissance est mesurée à des intervalles réguliers par l'accroissement du rayon du thalle pour les lichens foliacés ou crustacés et par l'augmentation de la longueur pour les lichens fruticuleux. La croissance des lichens est aussi conditionnée par plusieurs facteurs notamment les facteurs substratiques et climatiques, ainsi l'âge des lichens, en effet les thalles jeunes ont une croissance plus rapide que les thalles adultes (Collombet, 1989).

Et en ce qui concerne la longévité, les thalles fruticuleux et composites atteignent au minimum 10 ans d'âge et les thalles crustacés, tel le Rhizocarpon, peuvent même atteindre ou dépasser le siècle (Jahns, 2007).

### 3.6 Ecologie des lichens

Les lichens sont répandus sur toute la planète terre, ce 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 (Goujon, 2004). Les lichens sont capables de résistance aux températures extrêmes : Les lichens peuvent entrer en vie ralentie, notamment à l'état sec, puis reprendre une vie végétative active lorsque les conditions redeviennent favorables. C'est le phénomène de reviviscence. Et tolérer de basses températures en vie végétative (photosynthèse jusqu'à  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Déruelle et Lallemand, 1983).

Selon Van Haluwyn *et al.* (1993), la répartition des lichens est influencée par des facteurs écologiques, facilement regroupés en trois ensembles : les facteurs substratiques, climatiques et biologiques.

#### 3.6.1 Les facteurs substratiques

Les lichens se développent dans des milieux très variés, sur les substrats naturels ou artificiels en fonctions de leurs caractéristiques propre, souvent inattendus comme les métaux, le verre, le cuir, les os. D'après Van Haluwyn *et al.* (1993), les lichens sont regroupés en trois principaux groupements selon la nature du substrat (tableau 03).

**Tableau 3** : principaux groupement lichénique selon la nature de substrat (Van Haluwyn et Lerond, 1993).

Groupement	Nature de substrat
Epiphyte	Ce sont les lichens qui se trouvent sur les troncs sur les écorces de nombreux arbres et arbustes. On peut trouver les lichens qui poussent et se développent sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- D'autres lichens, appelés lichens lichénicoles.</li> <li>- Les mousses ; lichens muscicoles.</li> <li>- Feuilles ; lichens foliicoles.</li> <li>- Bois ; lichens lignicoles.</li> </ul>
Rupicole	Ce sont les lichens qui colonisent les rochers sont très nombreux et diversifiés. Les groupements saxicoles se rencontrent sur les substrats siliceux, les rochers calcaires, les murs et sur les toits. Les types morphologiques sont essentiellement crustacés.

Humicole et terricole	Sont des lichens qui croissent sur la terre ou l'humus, le thalle est toujours entièrement situé à la surface du substrat.
-----------------------	--

### 3.6.2 Les facteurs climatiques

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

- L'eau joue un rôle capital dans la répartition des lichens notamment parce que le degré d'hydratation du thalle conditionne les fonctions vitales.
- L'humidité est également un facteur qui influe directement sur le fonctionnement physiologique des lichens ; ils la reçoivent soit de l'atmosphère soit du substrat (**Van Haluwyn et Lerond, 1993**).
- La température agit sur les fonctions métaboliques des lichens principalement la respiration et la photosynthèse (**Déruelle et Lallemant, 1983**).
- Le vent, est un facteur climatique qui comporte également une action mécanique d'arrachage qui entrave le développement des espèces fruticuleuses et espèces foliacées. Seulement ajoutant que, d'une autre manière, le vent est facteur de dissémination

Les lichens sont, dans l'ensemble, des végétaux héliophiles, seul une minorité d'espèce préfèrent les habitats ombragés en relation avec l'humidité plus élevée de ces stations. Toutefois, il existe des espèces ayant des formes de soleil et des formes d'ombre ex. *Xanthoria parietina*. Comme la température, la lumière agit sur la photosynthèse ainsi que sur la respiration (**Ozenda et Clauzade, 1970**).

### 3.6.3 Les facteurs biotiques

Il existe une concurrence vitale entre les lichens eux même et aussi entre les lichens et les autres plantes, mousses ou phanérogames, ainsi l'influence de la végétation de bryophytes et de plantes vasculaires qui modifie localement les conditions climatiques et substratiques, créant des microclimats et des micros stations.

L'action des animaux et principalement de l'homme, se manifestant surtout mécaniquement par piétinement, fragmentation des thalles et chimiquement par l'enrichissement de l'atmosphère et du substrat en ammoniac, sels ammoniacaux, nitrate, phosphates, dont

l'influence sur les lichens est considérable et dans l'ensemble, néfaste (**Van Haluwyn et Lerond, 1993**).

### **3.7 Sensibilité des lichens face à la pollution de l'air**

Les lichens sont très diversifiés et leur sensibilité à divers polluants (ozone, métaux lourds, azote, etc.) est différente en fonction des espèces, Certaines caractéristiques biologiques des lichens rendent ces organismes sensibles aux polluants atmosphériques même celle-ci est faible, et ainsi, permettent leur utilisation en biosurveillance de la qualité de l'air (**van Haluwyn et Lerond, 1993 ; Conti et Cecchetti, 2001**). De nombreuses particularités possédées par ces végétaux (différences fondamentales avec les végétaux supérieurs) : les lichens sont des végétaux dont l'activité est continue quelle que soit la saison contrairement aux végétaux supérieurs et leurs activités photosynthétiques n'est pas interrompue. Leurs métabolisme qui est lent se traduit par un taux de croissance faible et par une grande longévité qui permet de suivre l'évolution de la pollution, ainsi par absence de moyens de lutte contre la pollution (**Déruelle et Lallemant, 1983**) la structure de leurs thalle Contrairement aux plantes, ils n'ont ni cuticule, ni système racinaire, ni système d'excrétion et de régulation des échanges gazeux les transforment en organismes capables d'accumuler trois fois plus de contaminants atmosphériques qu'une feuille d'arbre (**Loppi et al., 1997**) et deux fois plus que la partie végétative de plantes herbacées (**Bargagli, 1993**).

Plusieurs végétaux sensibles ont été développés pour la surveillance de divers polluants : SO<sub>2</sub> par les lichens (**Hawksworth et Rose, 1970**), O<sub>3</sub> par le tabac (**Garrec et Livertoux, 1997**), métaux par les mousses (**Berg et Steinnes, 1997**), radionucléides par les lichens (**Ellis and Smith, 1987**), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par le chou (**Kipopoulou et al., 1999**). les écorces ont fréquemment été employées en biosurveillance des éléments traces métalliques (**Berlizov et al., 2007; Catinon, 2010**).

### **3.8 Les lichens bio accumulateurs des polluants organiques**

Des enquêtes sur les niveaux de PCDD/F et de HAP dans les lichens ont été réalisée dans de nombreuses pays comme le Portugal, l'Espagne, la Pologne, l'Italie et l'Inde (**Shukla et Upreti, 2009 ; Guidotti et al., 2003 ; Schrlau et al., 2011 ; Augusto et al., 2010 ;...**).

Une étude d'Augusto et al (2010) a montré que les lichens sont de meilleurs accumulateurs de HAP que le sol et les aiguilles de pin, tandis que leur Les profils de HAP sont similaires à celui de l'air ambiant. Schrlau et al (2011) ont également trouvé que les lichens étaient plus efficaces pour accumuler les POP que les aiguilles de pin et mousses. Il a été montré en 2002 par Migaszewski et al que les espèces de lichen étudiée avait une concentration de HAP plus élevée que l'écorce de l'hôte, et que la même espèces de lichens présentaient des concentrations constantes de HAP malgré leur croissance sur différentes espèces d'écorce d'arbre (**Migaszewski et al., 2002**). Des études ont été menées pour identifier les lichens qui absorbent les mieux différents polluants organiques de l'air. Il a été rapporté que les lichens fruticuleux mieux absorber les POP de faible poids moléculaire, probablement en raison de leur rapport surface/volume, tandis que les lichens foliacés absorbent préférentiellement le polluants organiques de poids moléculaire plus élevé (**Blasco et al., 2011 ; Schrlau et al., 2011 ; Augusto et al., 2009 ; Augusto et al., 2009**).

### **3.9 Mécanisme d'accumulation des polluants organiques par les lichens**

Plus récemment, l'utilisation des lichens comme biomoniteurs des polluants organiques de l'air a été étudiée. Bien que les lichens n'aient pas de cuticule ou de stomates cireux, ils produisent et libèrent cependant à leur surface des métabolites lipidiques qui sont suspectés de se comporter de la même manière que la cuticule chez les plantes (**Oksanen, 2006**). Les nature lipophile de la surface des lichens attire alors facilement les composés, tels que les composés organiques semi-volatils (COSV) atmosphériques, et facilite leur absorption, où leur incorporation dans les cellules serait métaboliquement contrôlé (**Branquinho et al., 1999 ; Branquinho, 2001**). Les polluants organiques de l'air sont généralement hydrophobes, ce qui signifie que l'absorption tend vers un dépôt sec (**Duinker et Bouchertall, 1989 ; McLachlan et Horstmann, 1998**).

Les mécanismes d'accumulation des lichens ont été décrit pour la plupart des polluants, en particulier les métaux (**Mikhailova et Sharunova, 2008 ; Brown, 1987 ; Nash, 1996**); mais aucune information est disponible concernant les mécanismes d'accumulation des HAP en phase gazeuse ou d'autres composés organiques semi-volatils dans les lichens (**Augusto, 2015**).

### 3.10 Présentation et description de *Xanthoria parietina*

*Xanthoria parietina* nommée aussi : Xanthorie des murailles ou parmélie des murailles, *Xanthoria* : du grec [xanth] = jaune, *parietina* : du latin [paries] = mur (Ziemski et LE Granché, 2020). Lichen foliacé pouvant aller jusqu'à 15 cm de diamètre, formant parfois des colonies étendues ils se recouvrent partiellement les-uns-les-autres et ont souvent un aspect drapé (INPN, 2017). Thalle de couleur jaune-orangé devenant jaune-verdâtre ou gris-verdâtre en situation ombragée. Les apothécies sont généralement nombreuses situés au centre du thalle (fig 15) (Marsy, 2015) forment des disques de moins de 4 mm de diamètre de couleur orangée au centre et le rebord est jaune, il devient légèrement crénelé avec le temps. La surface du disque est d'abord concave puis devient presque plate à maturité, La face inférieure est presque blanche et munie de rhizines simples et peu abondantes (INPN 2017). C'est l'espèce le plus fréquent des xanthoria (Association française de lichénologie 2017).



Figure 09 : Image *Xanthoria parietina* (INPN, 2017).

La couleur orangée de *Xanthoria parietina* est remarquable, elle est due à l'accumulation dans la partie superficielle (cortex) du lichen d'un pigment de la famille des anthraquinones issu du métabolisme secondaire du champignon : la pariétine. Plusieurs études et observations de terrain tendent à montrer que ce composé protège l'algue symbiotique (photobionte) qui vit en association avec le champignon (algue verte principalement du genre *Trebouxia*) des fortes intensités lumineuses, en particulier des UV (Busti, 2012).

#### 3.10.1 Structure anatomique

Le thalle de *Xanthoria parietina* a une structure hétéromère (Souchon, 1971) , d'une forme plate est composé de quatre couches : un cortex supérieur recouvert par le composé orange la pariétine qui a pour rôle de protéger les algues des rayonnements solaire ; une couche

algale composée majoritairement d'individus de Trébouxia genres (algues vertes unicellulaires); une moelle où champignon les hyphes forment un réseau bien structuré; et un cortex inférieur avec des rhizines, avec le rôle d'attacher le lichen au substrat. Les le cortex supérieur représente la première barrière que les polluants doivent traverser pour entrer dans le lichen (Augusto, 2015).

### 3.10.2 Classification

Régne	Fungi
Embranchement	Ascomycota
Classe	Lecanoromycetes
Ordre	Lecanorales
Sous-ordre	Teloschistineae
Famille	Teloschistaceae
Genre	Xanthoria
Espèce	Parietina

Source : (Michelauro, 2011 ; Ziemiński et LE Granché, 2020).

### 3.10.3 Reproduction

Le lichen *Xanthoria parietina* se reproduit de manière sexuée ou asexuée.

- **Sexuée** : lorsque deux thalles de *Xanthoria parietina* entrent en contact, les hyphes\* fusionnent. Il se forme alors des petits organes reproducteurs, les apothécies\*, au creux des quels le champignon fabrique des spores. Celles-ci sont disséminées par l'eau et le vent. Si les conditions le permettent, les spores seront à l'origine de nouveaux champignons, dont les tissus seront colonisés secondairement par les algues.
- **Asexuée** : une simple fragmentation du thalle peut engendrer de nouveaux organismes, génétiquement identiques.

Il est à noter que deux acariens, *Trhypochtonius tectorum* et *Trichoribates trimaculatus*, qui se nourrissent de la xanthorie, rejettent dans leurs fèces des spores et des algues intactes (non digérées). Ils participent ainsi à la reproduction et à la dissémination de l'espèce (Ziemiński et LE Granché, 2020).

### **3.10.4 Ecologie**

L'association symbiotique entre les deux organismes (champignon et algue) permet au lichen d'acquérir de nouvelles propriétés : il a la capacité de résister aux conditions extrêmes de l'étage supra-littoral : résistance à la salinité, à de grandes variations de température et résistance à la dessiccation provoquée par l'exposition au vent et au soleil. Capable de coloniser la roche nue, la xanthorie a un rôle pionnier. Elle participe de manière importante à la décomposition du bois et à l'érosion des roches (**Ziemski et LE Granché, 2020**).

La distribution de cette espèce 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 l'Indiana à la Californie, Québec, Nouveau Brunswick, Nouvelle Ecosse, Labrador, St-Pierre et Miquelon) (**Ziemski et LE Granché, 2020**).

Susceptible d'être rencontrée dans une vaste gamme d'habitats et sur un grand nombre de substrats *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 général, une atmosphère humide et azotée, d'où son utilisation en tant qu'indicateur de qualité d'air dégradée (**Marsy, 2015**).

Les variations de son abondance sont essentiellement liées à deux exigences spécifiques : son caractère héliophile et nitrophile, la parmélie des murailles abonde surtout dans des zones fortement éclairées et une préférence pour les substrats riches en azotes.

### **3.10.5 Intérêts**

#### **a) Usage en médecine traditionnelle**

En raison de sa couleur jaune vif, il était utilisé par les guérisseurs médiévaux (appliquant la théorie des signatures) pour soigner la jaunisse, la diarrhée et les maladies du foie (**Tiévant, 2001**). En Andalousie, la médecine traditionnelle l'utilisait pour les douleurs menstruelles, les troubles hépatiques et comme analgésique (**González-Tejero et al., 1995**). En outre, des études récentes ont révélé ses propriétés antivirales, notamment contre les virus de type influenza (**Ozenda et Clauzad, 1970**).

#### **b) Usage dans la biosurveillance de la qualité de l'air**

Ce lichen est un bioindicateur utilisé pour cartographier différents types de pollution (zonation selon l'indice de contamination soufrée, azotée, hydrocarburée), à différentes échelles (état, région, ville)

La xanthorie résiste par exemple à des taux élevés de métaux lourds. Capables d'emmagasinier et de stocker divers polluants atmosphériques, ils permettent une purification de l'air et constituent de véritables marqueurs (ou bioindicateurs), témoins de la qualité d'un biotope.

### **3.11 Paramètres Physiologiques étudiées**

#### **3.11.1 Chlorophylle**

La chlorophylle est une entité qui désigne 5 ou 6 espèces moléculaires répandues actuellement dans le monde photosynthétique, telles que chl a, chl b, chl c, chl d, carotènes et xanthophylles ; Ce sont des molécules responsables de la couleur verte des plantes (**Dallaa, 2003 ; Benterrouche., 2006**). Chez les végétaux supérieurs, on trouve 2 types de chlorophylle qui se différencient par leur structure moléculaire leur mode d'absorption des ondes lumineuses :

- La chlorophylle *a* existe chez tous les végétaux ( $\approx 3\text{g} / \text{Kg}$  de feuilles fraîches), elle représente 75 % de la chlorophylle des plantes vertes.
- la chlorophylle *b* se trouve chez les Cormophytes (végétaux supérieurs) et les Chlorophycées (algues vertes) à des teneurs moindres ( $\approx 0.75\text{g} / \text{Kg MF}$ ).

Plusieurs études et travaux de recherches ont démontrés que la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress dont, la salinité, le stress hydrique (**Cheikh M'Hamed et al., 2008 ; Boussabouaa., 2010**), le stress métallique (**Dellaa, 2003**), la compaction du sol, une nutrition inadéquate...etc.

#### **3.11.2 La proline**

La proline représente environ 4 % des acides aminés des protéines de notre organisme.. Parmi les 20 acides aminés protéiques. La proline est un acide aminé non indispensable chez l'homme, par contre chez les végétaux c'est un acide aminé indicateur du stress de la plante. La proline est dite alors AA à groupe aminé secondaire. Les acides aminés ont les propriétés d'amphotère et sont appelé ampholytes (amphotéiques électrolytes parce qu'ils peuvent se comporter comme un acide ou comme une base (**Dallaa, 2003**)).

La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes. La proline a été proposée comme stabilisateur de protéines et de complexes macromoléculaires, piègeur de radicaux libres et régulateur du potentiel redox cellulaire. La concentration intracellulaire de la proline dépend d'une régulation fine entre sa biosynthèse et sa dégradation. Cependant le rôle exact de la proline et les voies de signalisation impliquées dans la régulation de son métabolisme ne sont pas encore complètement élucidés. L'étude du métabolisme de la proline chez les plantes modèles permettrait d'acquérir des informations quant aux mécanismes différentiels mis en œuvre par les plantes pour faire face aux contraintes environnementales et d'établir des outils pertinents pouvant être utilisés dans l'amélioration des plantes cultivées (**Ben Rejeb et al., 2012**).

## 1 Présentation de la zone d'étude

Dans le cadre d'étude de la biosurveillance de la pollution atmosphérique dans la ville de Bejaia, nous pouvons dire que notre zone d'étude est l'une de ces villes du littoral à avoir subi les conséquences d'une urbanisation excessive, la présente étude qui a été menée dans différentes régions de la ville de Bejaïa, permettra une évaluation de la concentration des HAPs et des poussières en utilisant le lichen *Xanthoria Parietina*.

La ville de Bejaïa se présente au centre de la façade méditerranéenne de l'Afrique du Nord. Elle se situe au nord-est de l'Algérie, à 230 km à l'est de la capitale Alger. Elle est le chef-lieu de la wilaya de Béjaïa et de la daïra de Béjaïa, en Kabylie. Elle est implantée au nord de l'embouchure de la Soummam, sur le versant sud de la montagne de Gouraya. Elle s'ouvre sur la mer méditerranée avec une façade maritime de plus de 100 Kms, alternant criques rocheuses et plages de sable fin d'Est vers l'Ouest.

La frange du littoral qui a un climat doux bénéficie des influences de la mer. Elle reçoit en moyenne 800 à 1100 mm de pluie par an. Elle est aussi marquée par l'importance du relief montagneux (3/4 du total).



Figure 10 : Présentation de la zone d'étude (Google earth, 2021).

## 1.1 Climat :

Appartenant au domaine méditerranéen, le climat de la wilaya de Bejaia varie d'une zone à une autre. La zone littorale et la vallée de la Soummam jouissent d'un climat pluvieux et doux en hivers, sec et chaud en été favorable au développement du tourisme balnéaire. La température atteint parfois 0 °C, voire moins en hiver, ce qui s'accompagne par la chute de neige.

Les données climatiques utilisées dans la présente étude proviennent de la station météorologique sise à l'aéroport de la ville de Bejaïa et couvrent une période de 10 ans allant de 2008 à 2018.

### 1.1.1 Températures :

Les températures moyennes mensuelles oscillent entre 8,12 et 25,72 °C. Les minimas vont de 7,44 (janvier) à 21,21 °C (août), les maximales entre 16,49 (janvier) à 30,23 °C (août) (voir tableau 04).

**Tableau 04 :** Températures minimales, maximales et mensuelles moyennes exprimées en degrés Celsius (°C) dans la localité de Bejaia (station sise à l'aéroport).

		Mois/Bejaïa											
T (°C)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Max	16,49	16,91	18,60	20,32	22,88	26,28	29,53	30,23	28,11	25,26	20,75	17,57	
Min	7,44	7,54	9,02	10,84	13,95	17,65	20,39	21,21	19,04	15,75	11,73	8,68	
Moy	11,96	12,22	13,81	15,58	18,42	22,22	24,96	25,72	23,57	20,50	16,24	8,12	

### 1.1.2 Pluviométrie :

Le cumul annuel des précipitations enregistrées durant la période d'étude dans la localité de Bejaia atteint 768,63 mm et les cumuls mensuels sont consignés dans le tableau 05.

**Tableau 05 :** Précipitations mensuelles (P) de la région de Bejaïa durant la période d'étude.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	105,8	93,4	86,1	75,5	43,5	16,1	6,3	9,9	59	40,5	104,7	127,4	768,63

### 1.1.3 Vents :

La vitesse horaire moyenne du vent à Bejaia connaît une variation saisonnière considérable au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure 4.9 mois, s'étendant du 28 octobre au 25 mars, avec une vitesse moyenne des vents supérieurs à 12,3 km/h.

#### **1.1.4 Humidité :**

La localité côtière de Bejaia connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 4.6 mois avec une sensation de lourdeur étouffante au moins 21% du temps, le jour le plus lourd est le 31 aout avec un climat de 84% du temps.

### **1.2 Synthèse climatique :**

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres. Pour tenir compte de cela, divers indices ont été créés et les plus employés font usage de la température (T) et de la pluviosité (P) qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus (**Dajoz, 1985**). En région méditerranéenne, le plus souvent ce sont les diagrammes ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et le quotient pluviométrique d'Emberger qui sont les plus employés.

#### **1.2.1 Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen :**

Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique (**Ramade, 2003**). D'après Bagnouls et Gaussen : un mois est considéré comme sec lorsque le total des précipitations (P), exprimé en mm, est égal ou inférieur au double de la température moyenne (T), du mois, exprimée en degré centigrade. Partant de ce principe, la durée et l'importance de la période sèche peuvent être déterminées par le diagramme ombrothermique proposé par ces deux auteurs. Le diagramme ombrothermique de la région de Bejaïa nous montre l'existence de trois périodes prolongées tout au long de la période (2008 - 2018) (deux périodes humides ; l'une s'étale de janvier à mai et l'autre de septembre à décembre, et une période sèche durant les quatre mois restants, c'est à dire de mai à septembre) (Figure 11).

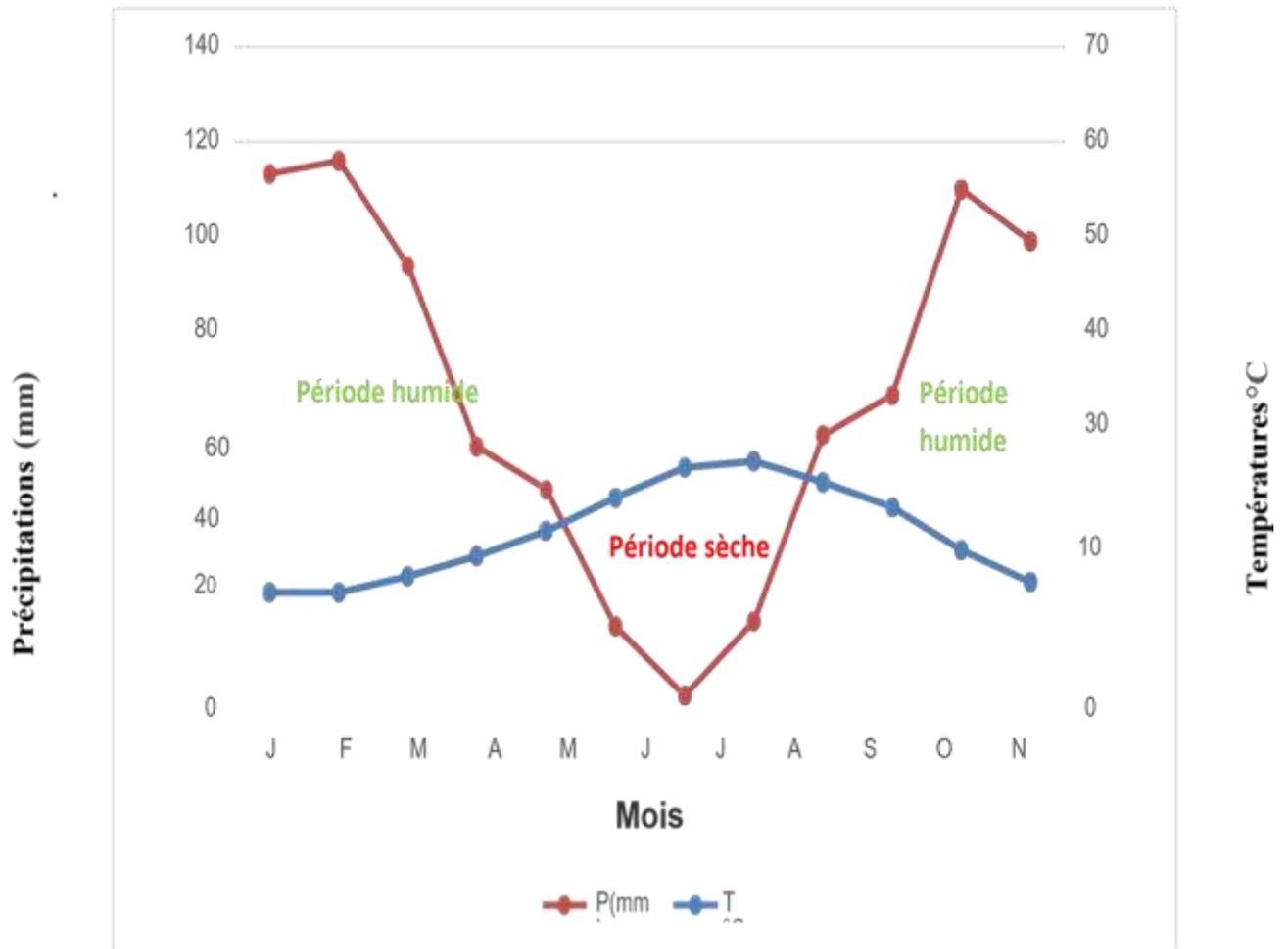


Figure 11 : Diagramme de Bagnouls et Gaussen de la région de Béjaia (2008-2018)

### 1.2.2 Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique ( $Q_2$ ) permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région méditerranéenne et de la situer dans le climagramme d'Emberger. C'est un quotient qui est en fonction de la température moyenne maximale ( $M$ ) du mois le plus chaud, de la température moyenne minimale ( $m$ ) du mois le plus froid et de la pluviosité moyenne annuelle ( $P$ ) en mm. Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide, il est calculé par la formule suivante (Emberger, 1971) (figure 12):

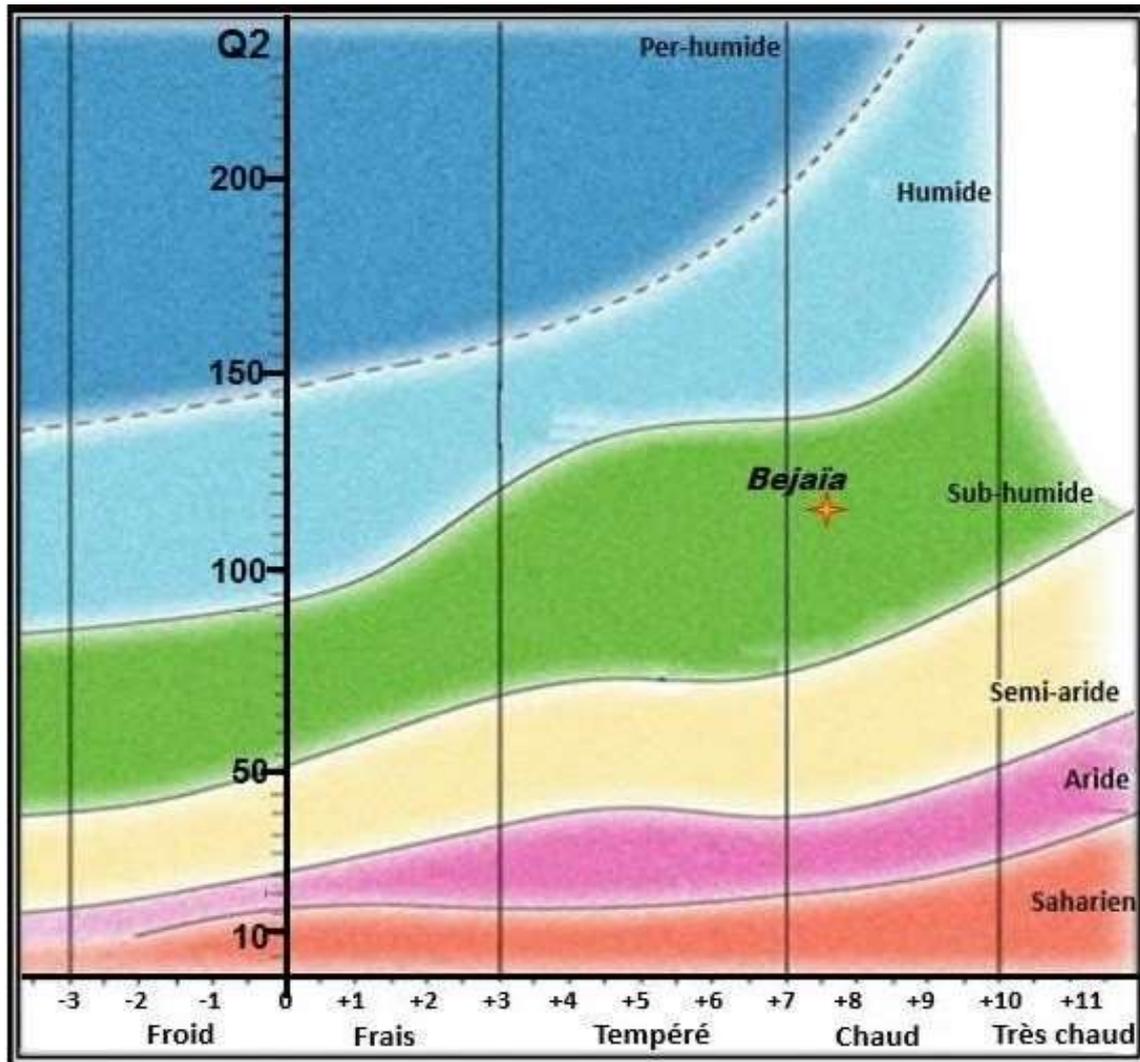
$$Q_2 = \frac{P}{M^2 - m^2} \cdot 2000$$

Où :

**P** : Somme des précipitations annuelles exprimée en mm

**m** : Moyenne des températures des mois les plus froids

**M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud



**Figure 12:** Diagramme ombrothermique d'Embrger de la région de Bejaïa pour la période 2008-2018.

## 2 Plan d'échantillonnage :

En biosurveillance passive, il y a des critères à prendre en considération dans le choix de l'espèce (Khalil, 2016). Le choix de lichen *Xanthoria Parietina*, est justifié par sa présence dans notre zone d'étude, ainsi que par sa résistance à la pollution atmosphérique (Maizi, 2014).

Au départ, 10 stations ont été prévues et marquées à travers le territoire de la ville de Bejaia. Cependant, après différentes sorties d'exploration de ces 10 stations, deux d'entre elles se sont avérées dépourvues de notre espèce d'étude (*Xanthoria Parietina*), donc ignorées pour l'échantillonnage et ne sont retenues que 8 stations abritant l'espèce (figure 13).



**Figure 13** : illustration de notre zone d'étude et les stations de prélèvement (**Google Earth, 2021**)

## 2.1 Présentation des stations d'échantillonnage

**Station 01 (S1) Bir slam** : cette station est localisée a quelques kilomètre de la gare routière de la wilaya de Bejaia ou le trafic routier est très intense.

**Station 02 (S2) Aéroport** : situé juste à côté de l'aéroport de Bejaia, très urbanisée par ses multiples vols, trafic automobile.

**Station 03 (S3) Iryahen** : cette station se localise à quelques kilomètre de l'aéroport entre deux surface agricoles (arbres d'oranger).

**Station 04 (S4) Résidence UTO** : cette station est localisée dans la résidence universitaire Targa Ouzemour.

**Station 05 (S5) Cité aouchiche :** cette station est localiser a 100km de l'université de targa ouzemour.

**Station 06 (S6) Brise de mer :** elle est localisée près de la gare maritime de bejaia.

**Station 07 (S7) Sidi wali :** cette station est localisée à des centaines de kilomètres des sources de pollution.

**Station 08 (S8) Cap carbon :** c'est une station à forte densité de la couverture végétal, en raison de son éloignement de toutes sources de pollution, mais elle n'échappe pas à la pollution atmosphérique causé par les voitures des touristes.

Les coordonnées géographiques de chaque station sont regroupées dans le (tableau 06).

**Tableau 06:** Coordonnées GPS des différentes stations d'échantillonnage.

Site	Altitude(m)	Latitude N	Longitude E	localisation
Station (S1)	20	36° 43' 411''	5° 03' 077''	Urbaine
Station (S2)	10	36° 43' 169''	5° 04' 432''	Urbaine
Station (S3)	6	36° 43' 871''	5° 04' 156''	Urbaine
Station (S4)	261	22° 25' 36.679''	84° 39' 22.814''	Urbaine
Station (S5)	167	36° 75' 14.27''	5° 03' 67.13''	Urbaine
Station(S6)	0	36° 45' 10.835''	5° 5' 19.354''	urbaine
Station (S7)	81	36° 45' 35.166''	5° 4' 38.949''	Rurale
Station(S8)	162	36° 5' 724''	5° 05' 884''	Rurale

### 2.1.1 Technique de prélèvement des échantillons de *Xanthoria Parietina*

Dans chaque site, 6 à 12 thalles sont récoltés (de même espèce et de même diamètre) sur au moins 3 à 6 arbres de différentes espèces (oliviers, pin, citronnier, orangers), à 1,5-2 m de hauteur sur le tronc à l'aide d'un couteau en céramique (**Fig 14**). Dans les quatre points cardinaux (nord, sud, est, ouest). Tous les prélèvements sont effectués le même jour après une période de 20 jours sans pluie. Les échantillons sont ensuite mis dans des sachets en papiers marron et transporter dans une glacière, une fois au laboratoire ils ont été conservé au réfrigérateur à une température inférieure à 6 °C.



**Figure 14** : Photo de prélèvement d'échantillon de *Xanthoria parietina* sur un arbre avec un couteau en céramique (prise par ABDOUN, 2021)

## 2.2 Paramètres mesurés :

Pour mesurer la quantité des polluants atmosphériques, à savoir les HAPs et les PMs, captés par *Xanthoria parietina*, et pour voir si cette accumulation a un effet sur l'activité physiologique végétale, on a opté pour plusieurs techniques d'extraction et de dosage.

### 2.2.1 Extraction des polluants :

Les techniques d'extraction des polluants s'intègre dans l'étude de la capacité de fixation et d'accumulation des HAPs et des poussières par les plantes.

#### 2.2.1.1 Technique d'extraction des HAPs

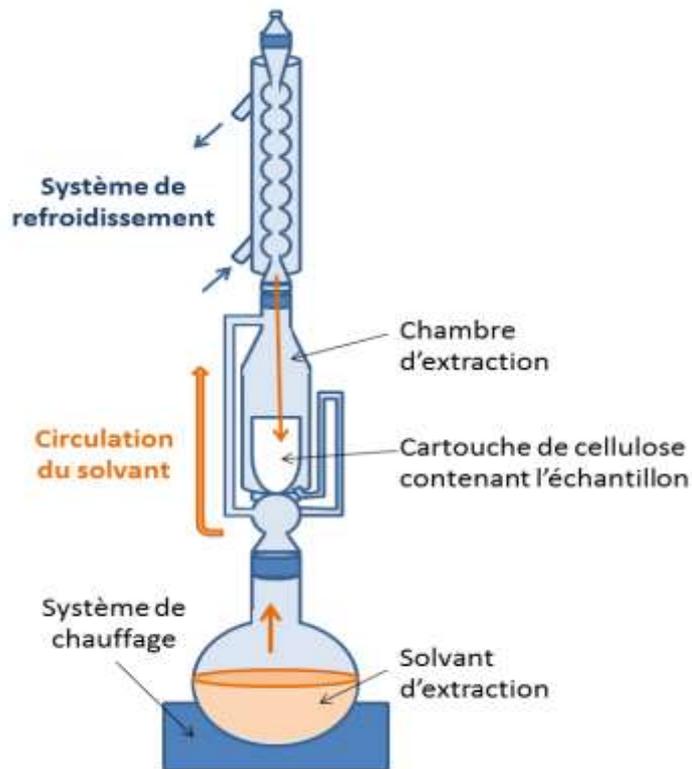
L'extraction des HAPs accumulés par *Xanthoria parietina*, ont été effectuées avec l'extracteur Soxhlet de modèle (behr labor-technik) (**figure 15**).



**Figure 15** : l'extraction des HAPs à l'aide du dispositif Soxhlet

### 2.2.1.2 Principe de Soxhlet

Le dispositif Soxhlet permet le chauffage du solvant à reflux. Les vapeurs de solvants sont condensées par le système de refroidissement afin de retomber dans la chambre contenant l'échantillon. Une partie des analytes cibles est transférée de la matrice vers le solvant chaud. Le solvant se charge en composés d'intérêt puis est recyclé pour un nouveau cycle de distillation. A chaque cycle, le solvant se concentre en composés d'intérêt et le processus peut s'étendre sur plusieurs heures ou journées. La partie du solide non soluble dans le solvant reste dans la chambre d'extraction et peut ainsi être facilement éliminée (figure 16), sans étape supplémentaire de filtration (Paris, 2018).



**Figure 16 :** Schéma d'un appareillage de soxhlet (Paris, 2018).

Une masse de 5g de chaque échantillon est mise dans des cartouches en cellulose, préalablement nettoyée avec de l'acétone. Les échantillons sont extraits avec un mélange de 50 ml d'acétone, et 50 ml d'hexane pendant 2 à 3 heures. Après 3 heures d'extraction, les creusets de Soxhlet ont été passés à l'étuve à 60°C pour l'évaporation des solvants (fig), les creusets ont été pesés une fois séchés par une balance de précision jusqu'à un point constant (**figure 17**).



**Figure 17 :** Ensemble de creusets contenant l'extrait de l'échantillon brut.

Les concentrations en hydrocarbures totaux sont déterminées de manière indirecte selon la formule suivante (Djamai *et al.*, 2009) :

$$P(HCt) = (Pcp - Pcv / pe) * 10$$

P(HCt) : poids des hydrocarbures totaux en ug.g(-1)

Pcp : poids du creuset plein

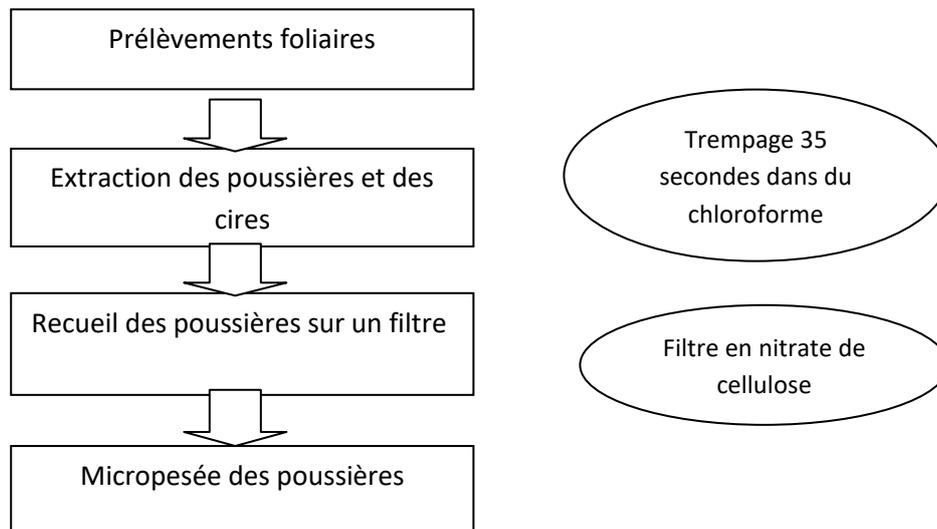
Pcv : poids du creuset vide

Pe : poids de l'échantillon

### 2.2.2 Technique d'extractions des poussières et des cires :

L'extraction des poussières et des cires est obtenu par l'utilisation de 1g de matière fraîche, les échantillons sont extrait à l'aide d'un solvant le chloroforme (Garrec *et al.*, 2008).

La procédure expérimentale de la fait ressortir toutes les étapes nécessaires à l'extraction des poussières (figure 18).



**Figure 18** : Schéma du protocole expérimental pour l'analyse des poussières accumulées sur les surfaces foliaires.

### **2.3 Paramètres physiologiques mesurés**

Les perturbations physiologiques des plantes diffèrent et s'observent selon la nature du polluant, pour cela on a choisi deux biomarqueurs les plus significatifs de ses perturbations à savoir la chlorophylle et la proline.

#### **2.3.1 Dosage de la chlorophylle :**

Nous avons opté pour le dosage de la chlorophylle a et b tout en utilisant la méthode établie par **Holden (1975)**., elle est réalisée par le broyage de 1g de matière fraîche additionnée au carbonate de calcium et 20ml d'acétone à 80%. La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures spectrophotométriques à deux longueurs d'onde ( $\lambda_1=645$  et  $\lambda_2=663$ nm).

Le calcul des valeurs de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

Chl a:  $12.7 (\text{DO } 663) - 2.69 (\text{DO } 645)$ .

Chl b:  $22.9 (\text{DO}645 - 4.86 (\text{DO}663))$ . (**Hiscot et Israelstam, 1978**)

Chl a+b:  $8.02 (\text{DO } 645) + 20.20 (\text{DO}663)$ . (**Brown et white, 1986**)

#### **2.3.2 Dosage de la proline :**

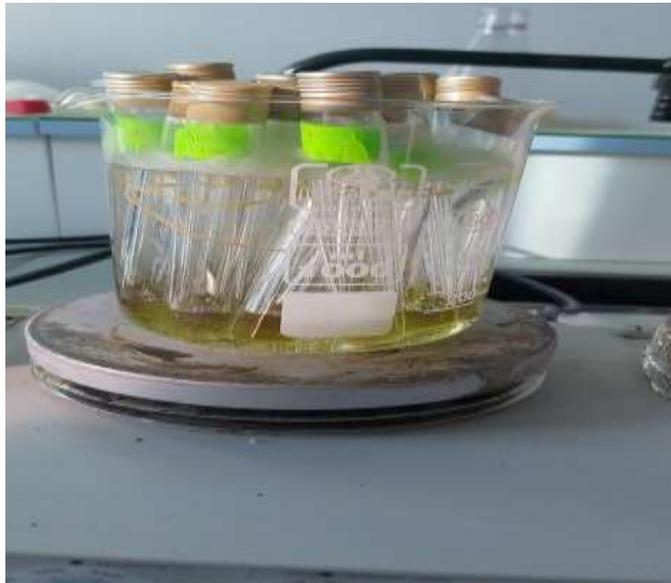
La proline est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine, c'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (**El Jaafari, 1993**).

La méthode utilisée pour le dosage de la proline est celle de (**Troll et Tindsley, 1955**) simplifiée, mise au point par (**Dreier et Goring, 1974**) et modifiée par (**Monneveux et Nemmar, 1986**). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

##### **2.3.2.1 Extraction de la proline**

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 3 ml de méthanol à 80%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement, on prélève 1 ml de la solution, auquel on ajoute 1ml d'acide

acétique et 1ml d'un mélange contenant : (120 ml d'eau distillée ; 300 ml d'acide acétique, 80ml d'acide orthophosphorique) ; on ajoute enfin 25mg de ninhydrine. La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C (**figure 19**).



**Figure 19** : tubes contenant la solution portée à ébullition sur plaque chauffante.

La solution vire au rouge après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente dépourvue de proline). La phase supérieure est récupérée et déshydratée par l'ajout avec une spatule de Sulfate de Sodium  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On dose ensuite les échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm. (**Figure 20**),



**Figure 20** : tubes contenant la solution après ébullition

Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon » préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans nos échantillons.

### **2.3.2.2 Réalisation de la courbe d'étalonnage :**

La courbe d'étalonnage est obtenue grâce à un mélange contenant de l'acide acétique, l'eau distillée, l'acide orthophosphorique et de la ninhydrine (annexe 01) (**Benhariz, 2018**).

$$Y=0.06468X +0.03695 \text{ avec } R^2=0.9809$$

### **Analyse statistique des résultats :**

Les données obtenues pour chaque paramètre, ont été interprétées statistiquement au moyen de l'analyse de la variance à un seul facteur, cette méthode permet de comparer les moyennes de chaque paramètre des différentes stations. On a pris connaissance des différences entre les stations par le test de Kruskal wallis En utilisant le logiciel « R 4.1.1 ».

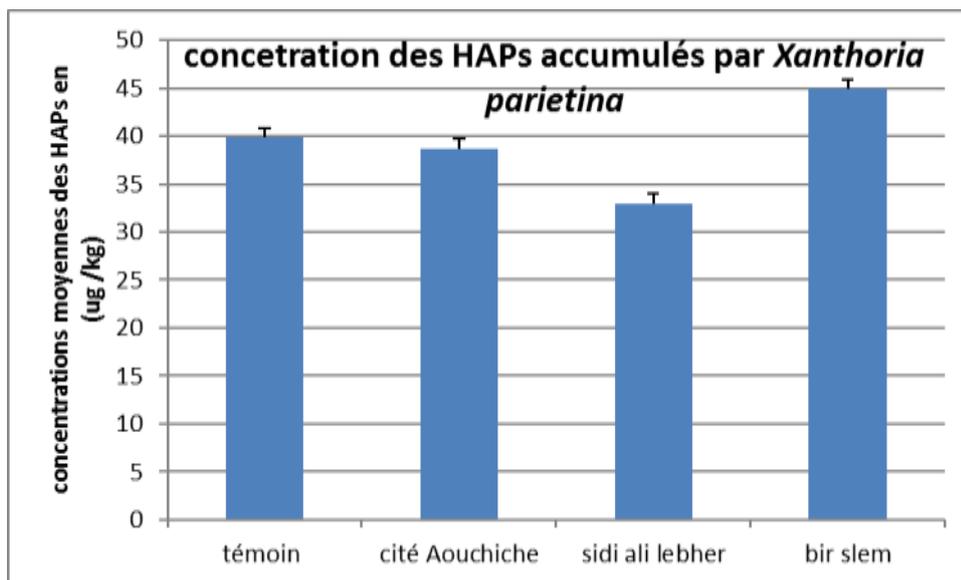
Pour compléter le travail, on a procédé à l'analyse en composantes principales (ACP), qui est une méthode d'analyse multi-variée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions. Cette méthode permettrait de préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces relations. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axes. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données (**Mouissi et al., 2016**

Dans cette partie nous présentons tout d'abord les travaux réalisés sur l'accumulation des HAPs, Ainsi, que les résultats obtenus concernant l'évaluation de l'accumulation des Poussières et les différents paramètres physiologiques mesurés.

## 1 Evaluation de l'accumulation des HAPs par *Xanthoria parietina*

L'évaluation des HAPs s'insèrent dans l'étude du pouvoir d'accumulation des HAPs par les compartiments étudiés.

La figure 21 : Illustre les résultats de l'accumulation des HAPs chez *Xanthoria Parietina*. D'après les résultats représentés sur l'histogramme, on remarque une nette variation des concentrations en HAP dans les trois stations (cité Aouchiche, Sidi Ali Lebher, Bir Slem ) par rapport à la station de référence (témoin). Cependant on a enregistré une valeur non négligeable des HAPs de l'ordre de  $(39.85 \pm 0.21 \mu\text{g}/\text{kg})$  au niveau la station témoin.



**Figure 21** : variation des HAPs en (ug/kg) accumulés par *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement dans la ville de Bejaia (été 2021).

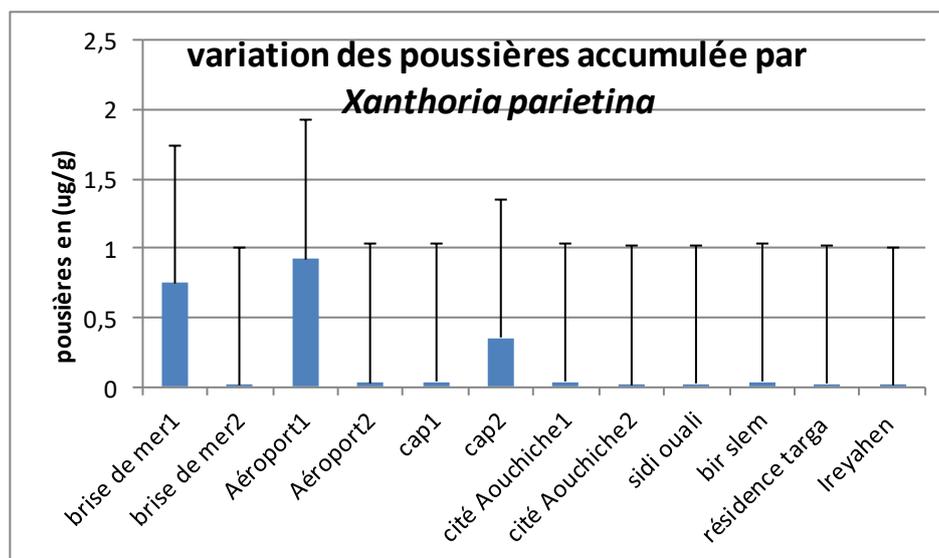
La valeur la plus élevée des HAPs est enregistré à la station de Bir Slem qui est de l'ordre de  $(44.93 \pm 4.34)$ . cette valeur est plus élevée que la teneur enregistrée dans les autres stations à savoir Sidi Ali Lebher, Cité Aouchiche et la station témoin (Cap carbone) .

L'analyse statistique effectués nous a permet de mettre en évidence qu'il n ya pas une différence significatif des stations sur l'accumulation des HAP ( $p=0.4289$ ).

La comparaison de toutes les paires de moyenne possibles avec le test de Kruskal Wallis n'a pas donné une différence significative ( $p > 0.05$ ) entre la station de référence (témoin) et les autres stations (cité Aouchiche, Sidi Ali Lebher et Bir Slem) de notre zone d'étude.

## 2 Évaluation de l'accumulation des Poussières par les thalles de *Xanthoria parietina*

Les résultats de l'accumulation des poussières chez les thalles de *Xanthoria Parietina*, illustrés par la figure 22 montrent une nette variation dans la quantité de poussière accumulée par *Xanthoria Parietina* selon les stations. Elle est plus ou moins faible dans toutes les stations à part les trois stations cap 2, Brise de Mer 1 et Aéroport 1 où on a enregistré des quantités plus importantes.



**Figure 22 :** Variation des poussières en  $\mu\text{g/g}$  accumulés par *Xanthoria Parietina* en fonction des stations de prélèvement dans la ville de Bejaia (été 2021).

En effet, la quantité la plus élevée, de  $(0.92 \pm 0.76 \mu\text{g/g})$ , est enregistrée à la station Aéroport 1 et qui est 460 fois plus élevée que la valeur moyenne  $(0.002 \pm 0.003 \mu\text{g/g})$  enregistrée au niveau de la station Brise de mer2. Les plus faibles valeurs enregistrées au niveau des stations (résidence Targa, Bir Slem, Sidi wali, cité Aouchiche1, cité Aouchiche2, cap1, Aéroport2 et Ireyahen) varient entre  $0.007 \mu\text{g/g}$  et  $0.7 \mu\text{g/g}$ . Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de Kruskal Wallis qui montre l'existence d'une différence significative ( $p = 0.006573$ ) des poussières entre les stations.

Le test de Dunn nous a donné une différence très significative ( $P_{adj}=0.03$ ) entre Aeroport1 et Brise de mer2, Aeroport1 et Ireyahen, Brise de mer1 et Brise de mer2 et une différence significative entre Brise de mer1 et Ireyahen, Brise de mer2 et cap2 ( $p=0.04$ ).

### 3 Paramètres physiologiques étudiés

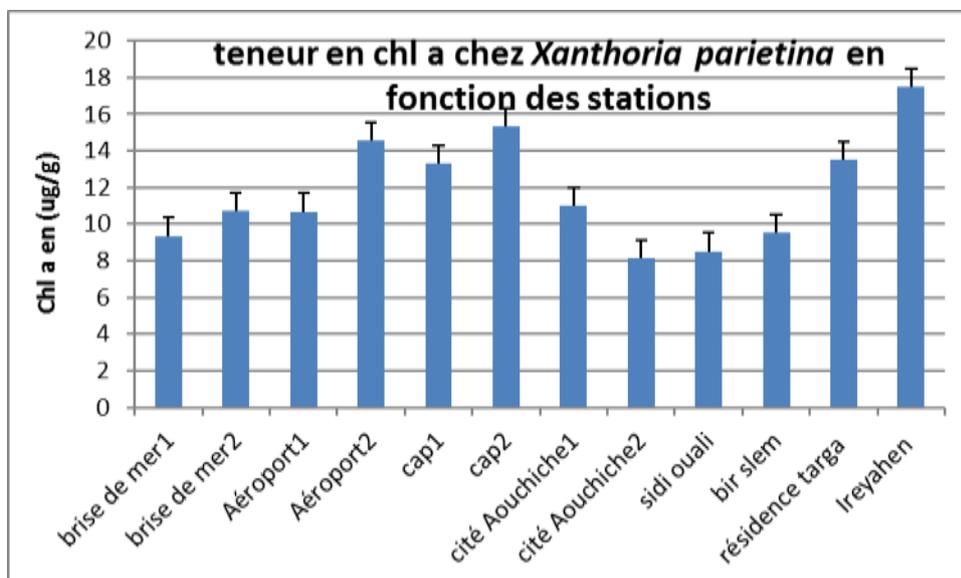
Pour connaître le lien entre les polluants accumulés et l'état physiologique de l'espèce étudiée, nous avons réalisé le dosage de la Chlorophylle (Ch. a, Ch. b et Ch. ab) et la proline.

#### 3.1 Dosage de la Chlorophylle

La Chlorophylle (a, b et ab) a été effectuée sur le thalle de *Xanthoria Parietina*.

##### 3.1.1 Dosage de la Chlorophylle a (Ch. a) Chez *Xanthoria Parietina*

Comme le montre la figure 23, la teneur en chlorophylle (a) varie en fonction des stations de prélèvement. On remarque des faibles teneurs en la chlorophylle (a) au niveau de presque toutes les stations de notre zone d'étude par rapport aux stations (Aéroport 2, cap 1, cap 2, résidence Targa et Ireyahen) où on a enregistré des valeurs plus ou moins importantes.



**Figure 23 :** variation de la teneur en la chlorophylle a en (µg/g) en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria parietina* dans la ville de Bejaïa (été 2021).

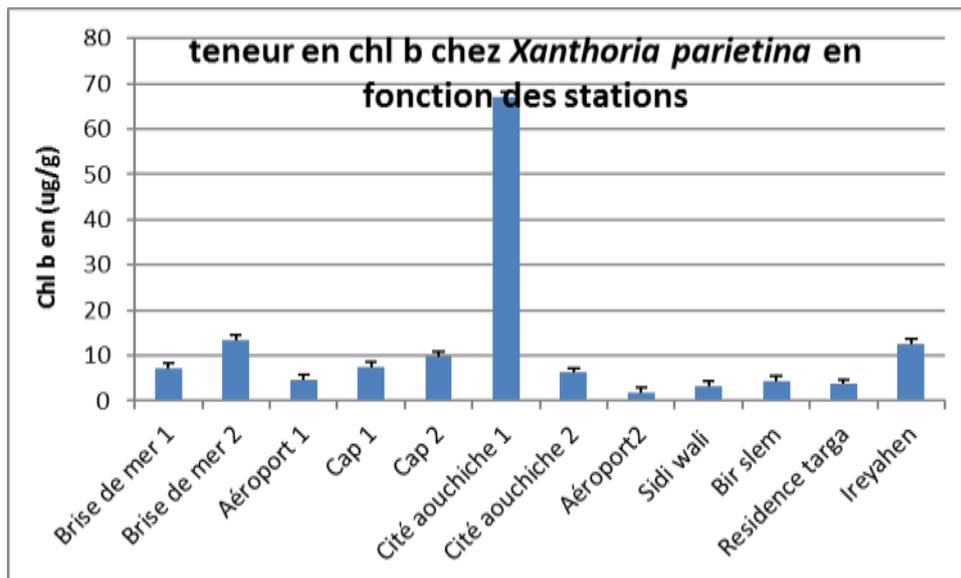
On a enregistré des valeurs plus ou moins faibles dont la plus faible est de l'ordre de ( $8.12 \pm 2.46 \mu\text{g/g}$ ) au niveau de la station cité Aouchiche2. La valeur la plus élevée, de ( $17.46 \pm 17.44 \mu\text{g/g}$ ) est représentée par la station d'Ireyahen.

Le test de Kruskal Wallis a donné des différences moyennement significatives ( $p=0.03601$ ) pour la chlorophylle (a) entre les stations.

Le test de Dunn n'a pas donné une différence significative entre les stations.

### 3.1.2 Dosage de la Chlorophylle (Ch. b) chez *Xanthoria Parietina*

La figure 24, représente les résultats obtenus concernant les effets des poussières et des HAP sur les teneurs moyennes en chlorophylles (b) de lichens *Xanthoria Parietina*.



**Figure 24:** Variation de la teneur en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria Parietina* dans la ville de Bejaia (été 2021)

La teneur en chlorophylle (b) varie en fonction des stations de prélèvement. On constate que les taux de la chlorophylle (b) enregistrés au niveau de toutes les stations sont stables et avoisinantes comparé à la station Cité Aouchiche1 ou on a enregistré la valeur la plus élevée ( $67.07 \pm 90.69 \mu\text{g/g}$ ), et la valeur la moins significative ( $1.84 \pm 1.5 \mu\text{g/g}$ ) est trouvée au niveau la station Aéroport 2.

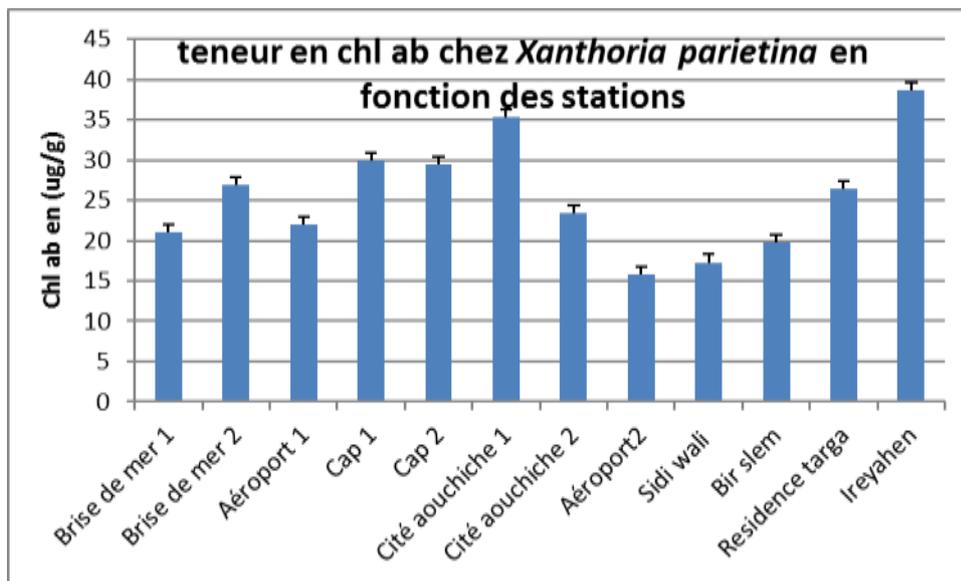
Le test de Kruskal Wallis a montré une différence hautement significative ( $p=0.01$ ) pour la chlorophylle(b) entre les stations. Avec le test de Dunn on a trouvé une différence très hautement significative ( $p=0.0007$ ) entre la station (Aéroport 2) et la station (Cité Aouchiche1).

### 3.1.3 Dosage de la Chlorophylle ab (Ch. ab) chez *Xanthoria Parietina*

D'après la figure 25, ci-dessous, les résultats obtenus du dosage de la chlorophylle (ab) indiquent des variations bien distinctes entre les stations. On a remarqué que la teneur de la chlorophylle (ab) est constamment invariable par rapport à la chlorophylle (a).

La moyenne maximale, de  $(38.65 \pm 33.83\mu\text{g/g})$ , est enregistrée à la station Ireyahen.

La valeur minimale  $(15.71 \pm 4.17\mu\text{g/g})$  est enregistrée à la station Aéroport1.



**Figure 25 :** Variation de la teneur en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria parietina* dans la ville de bejaia (été 2021).

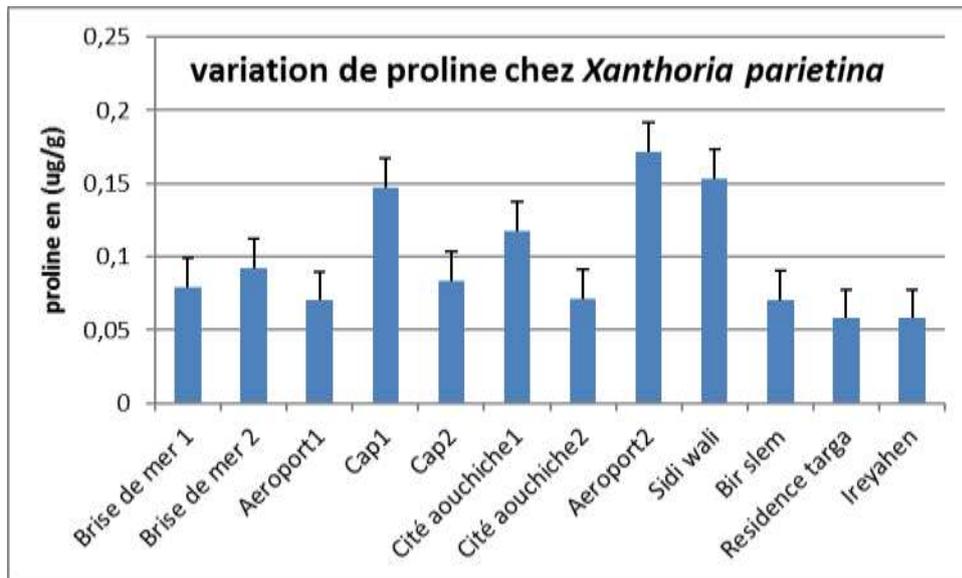
Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de Kruskal Wallis qui montre l'existence d'une différence significative ( $p=0.03642$ ) de la chlorophylle (ab) entre les stations. Le test de Dunn nous montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les stations.

### Dosage de la proline :

Le dosage de la proline a été réalisé sur le thalle de *Xanthoria Parietina*.

## 3.2 Dosage de la proline chez *Xanthoria parietina*

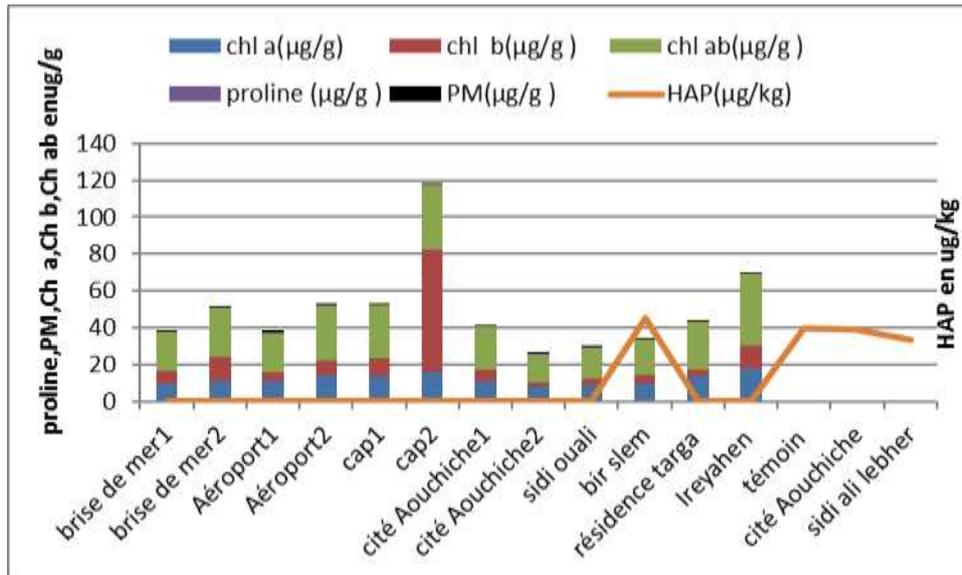
Les résultats de la teneur en proline chez *Xanthoria parietina* (figure 26) varient selon les stations. On peut observer une stabilité des taux de la proline enregistrés au niveau des stations Brise de mer1, Brise de mer2, Aéroport1, Cap2, Cité Aouchiche2, Bir Slem, Résidence Targa, et Ireyahen. Elles sont proches entre elles et elles varient entre  $(0.07 \pm 0.12\mu\text{g/g})$  et  $(0.09 \pm 0.04)$ .



**Figure 26 :** Variation de la proline en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria Parietina* dans ville de bejaia (été 2021).

On distingue une augmentation de la proline dans toutes les stations). Les valeurs les plus élevées sont cependant enregistrées au niveau de la station Aéroport2 et la station sidi wali et qui sont respectivement de  $(0.17 \pm 0.02 \mu\text{g/g})$  et de  $(0.15 \pm 0.63 \mu\text{g/g})$ . La plus faible teneur en proline, de  $(0.07 \pm 0.12 \mu\text{g/g})$ , est enregistrée à la station Aéroport1.

Les résultats des relations entre les variables physiologiques (Ch. a, Ch. b, Ch. ab et la proline) et l'accumulation des polluants (HAPs, PM) par *Xanthoria Pareitina* sont illustrés par la figure 27 ci-dessous :



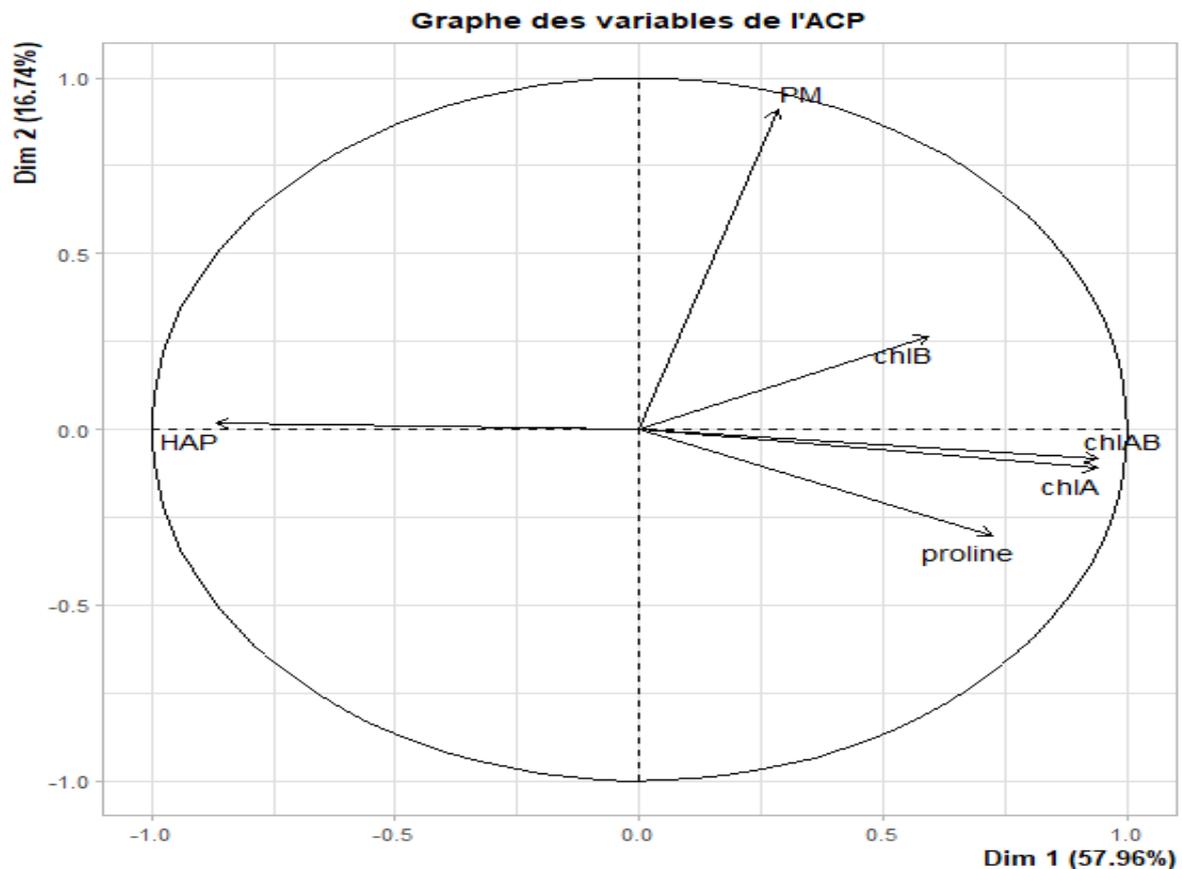
**Figure 27 :** Corrélation entre les teneurs en proline, Ch. a, Ch. b, Ch. ab et les polluants accumulés par *Xanthoria parietina* dans la ville de bejaia (été 2021).

D'après les résultats représentés sur l'histogramme de la figure08, on remarque que, là où les taux des HAPs et des PMs sont bas, on trouve des taux de chlorophylles (a, b et ab) aussi élevée et des taux de proline aussi bas à savoir toutes les station a part la sation de Bir Slem où les taux des HAPs sont élevés,et les taux de chlorophylle (Ch.a,Ch.b,Ch.ab)sont élevés.

On trouve aussi des taux de proline aussi bas mais des taux de chlorophylles (a, b et ab) élevés dans toutes les stations.

#### 4 L'analyse en Composante Principale (ACP)

L'Analyse des Composantes Principales a été effectué sur les huit (8) stations d'étude pour tous les éléments étudiés. Cela pour mettre en évidence les relations existantes entre les variables (Ch., Ch., Ch. ab, Proline, HAP et PM) à l'aide du cercle de corrélation.



**Figure 28** : cercle de l'ACP.

### Distribution de l'inertie

L'inertie des axes factoriels indique d'une part si les variables sont structurées et suggère d'autre part le nombre judicieux de composantes principales à étudier. Les deux premiers axes de l'analyse expriment **74.7%** de l'inertie totale du jeu de données ; cela signifie que 74.7% de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables) est représentée dans ce plan.

C'est un pourcentage élevé, et le premier plan représente donc bien la variabilité contenue dans une très large part du jeu de données actif.

Cette valeur est supérieure à la valeur référence de **\*\*65.05%\*\***, la variabilité expliquée par ce plan est donc significative. Du fait de ces observations, il n'est probablement pas nécessaire pour l'analyse d'interpréter les dimensions suivantes.

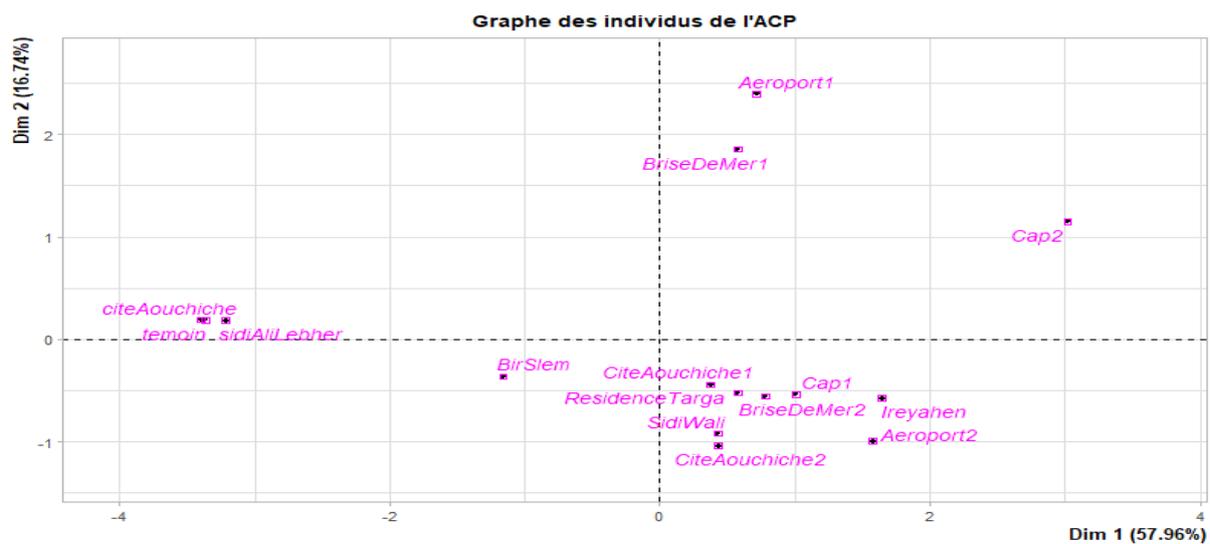
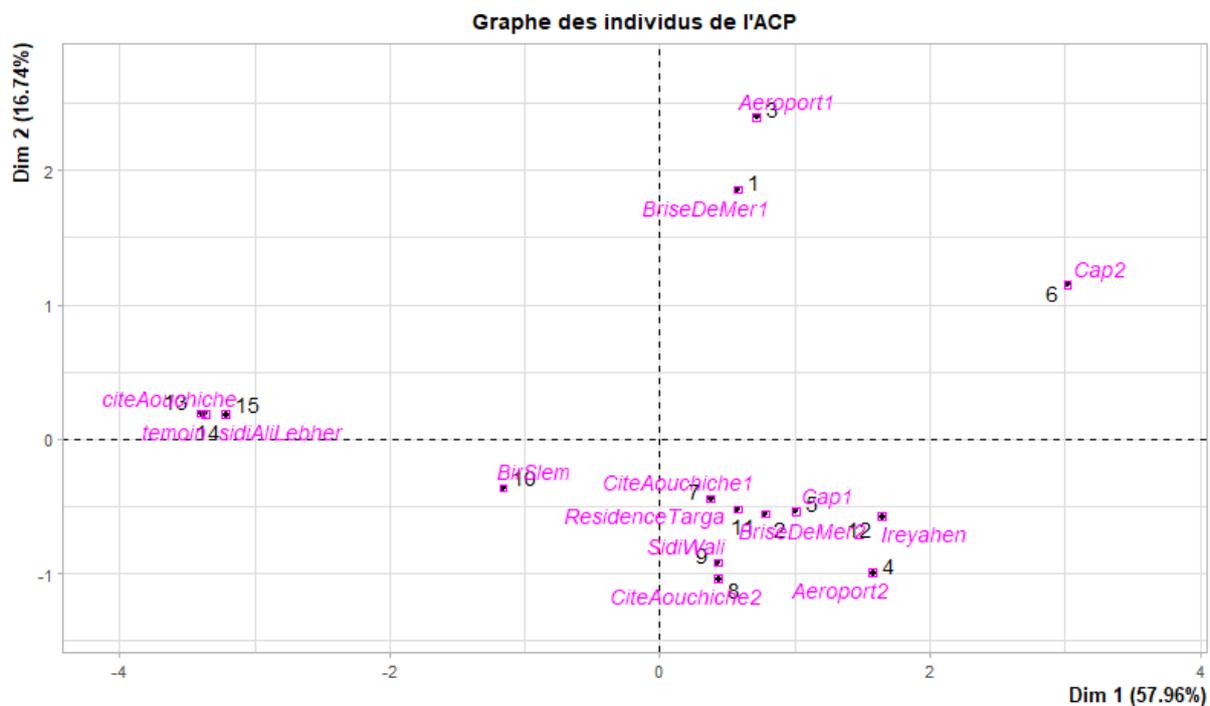


Figure 29 : Graphe des individus de l'ACP.

**Description des dimensions 1 et 2**

La **dimension 1** oppose des individus tels que cite Aouchiche, témoin (Cap carbone) à sidi Ali Lebher (à gauche du graphe, caractérisés par une coordonnée fortement négative sur l'axe) à des individus comme cap2, cap1, Iryahen, aeroport et brise de mer2 (à droite du graphe, caractérisés par une coordonnée fortement positive sur l'axe).

Le groupe auquel l'individu témoin appartient (caractérisés par une coordonnée négative sur l'axe) partage :

- de fortes valeurs pour la variable *HAP*.

Le groupe auquel les individus *cap1* appartiennent (caractérisés par une coordonnée positive sur l'axe1) partage :

- de fortes valeurs pour les variables *chlAB*, *chlA* et *proline* (de la plus extrême à la moins extrême).
- de faibles valeurs pour la variable *HAP*.

Le groupe auquel l'individu *citeAouchiche* appartient (caractérisés par une coordonnée négative sur l'axe1) partage :

- de fortes valeurs pour la variable *HAP*.
- de faibles valeurs pour les variables *chlAB*, *chlA* et *proline* (de la plus extrême à la moins extrême).

**La dimension 2**

Le groupe auquel les individus *Aeroport1* et *BriseDeMer1* appartiennent (caractérisés par une coordonnée positive sur l'axe2) partage :

- de fortes valeurs pour la variable *PM*.

L'Arbre hiérarchique suivant met en évidence les groupes d'individus (stations) qui partagent des valeurs statistiquement équivalentes pour les paramètres étudiés.

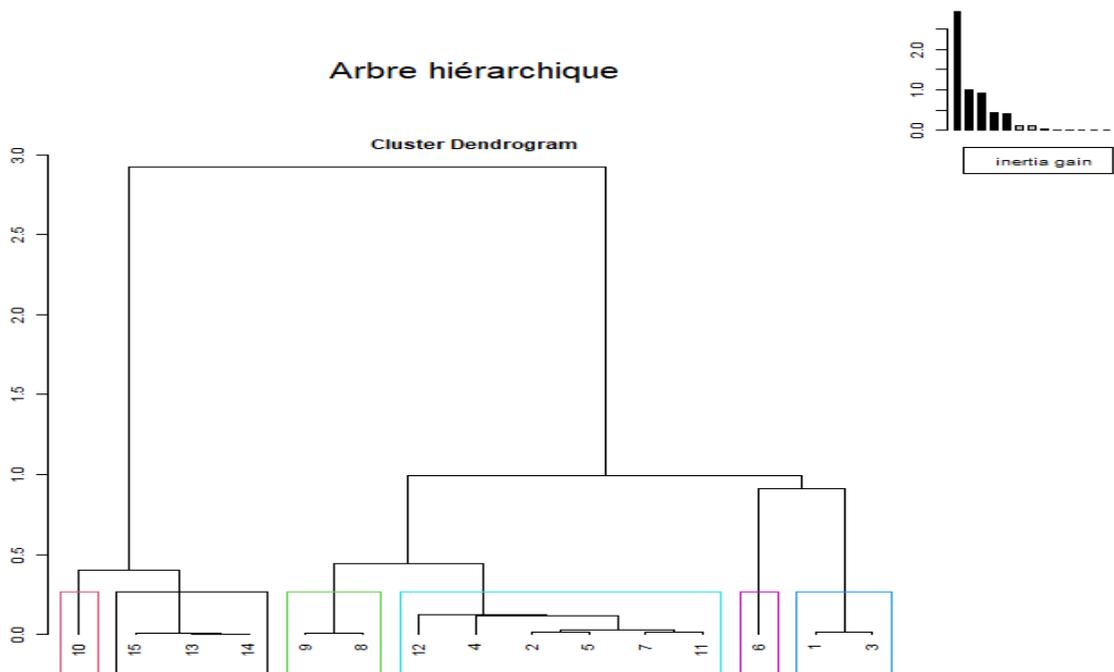


Figure 30 : Arbre hiérarchique.

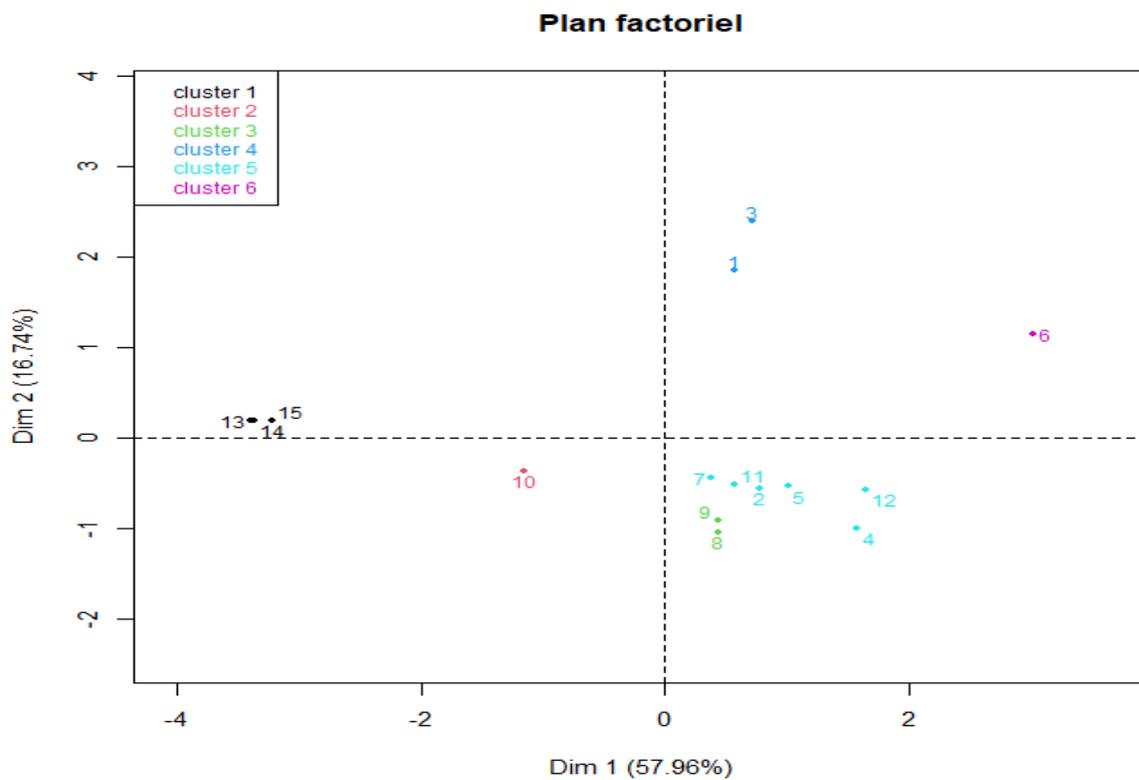


Figure 30 : Plan factoriel des individus.

## Discussion

Les résultats obtenus des travaux réalisés sur la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAPs et les PMs d'origine urbaine au niveau des 08 stations de la ville de Bejaia ont démontré des teneurs moyennes en HAP et PM accumulées par le bioaccumulateur utilisés (*Xanthoria Parietina*). Par ailleurs, ces résultats ont dégagé des différences significatives à très hautement significatives entre les stations sur l'accumulation des polluants (HAPs et PMs).

Les teneurs des HAPs les plus élevées sont enregistrés dans les échantillons de la station Bir Slem du fait de sa localisation à proximité de l'unité industrielle CANDIA et de la gare routière de Bejaia où le trafic routier est intense, Et des teneurs moins importantes sont observées dans les deux stations Cap carbon ( témoin ) et Cité Aouchiche qui est une station moins urbanisée.

Les teneurs les plus élevées des HAPs observées chez *Xanthoria Parietina* compte tenu de sa sensibilité à la pollution atmosphérique, ceci est dû à l'absence de régulation stomatique des échanges gazeux, alors que la pression osmotique élevée à l'intérieur des cellules, est une cause prépondérante de leur perméabilité favorisant ainsi les échanges avec l'atmosphère (Bouteraa, 2014).

Les teneurs des HAPs accumulés par *Xanthoria Parietina* sont globalement comprises entre (33 et 44.9305 µg/kg). Nos résultats rejoignent ceux d'AUGUSTO et al. , 2010 qui indiquent des teneurs en HAP accumulées par le conifère *Pinus halepensis* comprises entre (0.3 et 50 µg/Kg).

En ce qui concerne les teneurs des PMs les plus élevées sont enregistrés à la station Aéroport 1 en raison de sa proximité à l'aéroport Abane Ramdane de Bejaia. Les teneurs plus au moins importantes sont observées à la station cap 2 du fait que c'est une zone touristique où le trafic routier est important sur tout en été, ya aussi le facteur topographique de la région qui influe sur la dispersion des polluants et des PM.

Les teneurs des PMs accumulées par *Xanthoria Parietina* sont globalement comprises entre (0.002 et 0.92 µg/g).

Les plantes permettent d'intercepter des poussières en suspension dans l'air. Il est rapporté que dans l'air des rues dépourvues d'arbres, 10 000 à 12 000 particules par litre d'air sont présentes alors que dans les rues voisines bordées d'arbres, on ne compte plus que 3000 particules par litre

d'air. Selon la fondation canadienne de l'arbre, un arbre en bonne santé peut capter 7 000 particules en suspension par litre d'air. Il a été estimé qu'un arbre mature en milieu urbain peut intercepter jusqu'à 20 kg de poussières par an (**Vergriete et al., 2007**).

La perturbation de l'environnement touche en premier lieu les caractères morphologiques et physiologiques du végétal. Pour cela on a étudié les paramètres physiologiques (Ch. a, Ch. b, Ch. ab et la Proline).

L'exposition des lichens aux polluants dans les régions urbaines et industrielles causent la déchéance de la chlorophylle des lichens (**Maizi, 2006**).

Les taux de la chlorophylle (Ch. a, Ch. b et Ch. ab) et la proline enregistré chez *Xanthoria Parietina* sont compris respectivement entre (25.67 et 123.23 µg/g) et (0.05 et 0.17 µg/g). Ces résultats rejoignent les valeurs indiquées par **Maizi et al., 2012**

La teneur en proline pour l'espèce (*Xanthoria Parietina*) a marqué une accumulation moyenne au niveau des stations d'études en raison des dommages et de stress provoqués par les polluants (HAPs et PMs).

## ***Conclusion générale:***

---

Le lichen *Xanthoria pareitina* constitue un outil reconnu pour la biosurveillance des polluants atmosphériques est utilisé largement pour l'étude des dépôts atmosphériques de métaux lourds. Une attention particulière est portée actuellement sur les polluants organiques persistants (POPs), dont les effets sanitaires et écotoxicologiques sont tous aussi graves.

Les résultats obtenus des travaux réalisés dans la ville de Bejaia durant la période de l'été 2021, concernant la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAPs et les poussières d'origine urbaines et leur impact sur la végétation ont montré des concentrations élevées en HAPs et PM accumulées par l'espèce bioaccumulatrice utilisée, au niveau des huit stations de la zone urbaine.

Ces résultats ont aussi confirmé que la teneur en Chlorophylle totale est plus élevée au niveau des stations caractérisées par la densité de leur couvert végétal à savoir la station cap carbone, cité Aouchiche1, Résidence Targa et Ireyahen qu'au niveau des autres stations (brise de mer1, Bir Slem et Aéroport2, à faible couvert végétal, de la ville de Bejaia, Par contre, les teneurs en proline les plus élevées, accumulées par *Xanthoria Pareitina* sont enregistrées au niveau de Aéroport2.

On peut réaffirmer que l'espèce utilisée dans la présente étude s'est avérée être de très bonne bioaccumulatrice des HAPs et des PMs, Le lichen *Xanthoria Pareitina* présente un pouvoir accumulateur trop élevé. Ainsi, Les teneurs des PMs accumulées par ce lichen sont importantes. Les stress environnementaux ou abiotiques, comme la pollution, la sécheresse, la salinité et les basses températures sont des conditions qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Contrairement aux animaux, qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques **(Laurent et Ahmed, 1991)**.

Au cours des travaux réalisés pour l'obtention de ces modestes résultats, plusieurs obstacles ont été rencontrés sur le plan matériel ainsi que pour le temps court qui est été accordé. Ceci dit, n'a pas permis de travailler dans de bonnes conditions. On peut ajouter aussi que pendant la période d'échantillonnage les conditions climatiques, leur empêchement n'a pas été en notre faveur.

## *Conclusion générale:*

---

L'utilisation des caractères physiologiques des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique des zones urbaines est très importante. Pour cette raison on a un ensemble de perspectives qui complètent ce travail dans les prochaines recherches.

- On propose d'élargir l'espace d'étude tout en incluant d'autres zones urbaines pour faire une comparaison.
- En parallèle, il serait intéressant de prendre des zones de référence à un pourcentage très élevé pour que la comparaison des résultats puisse nous donner plus d'informations.
- Enfin, il est insuffisant de quantifier les poussières et les HAP, pour cette raison, on propose de faire leur caractérisation chimique.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Acgh** (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) biologic exposure indices (BEI) Cincinnati. OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2005.

**Augusto, S ; Maguas, C ; Matos, J** . Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles, *Environmental Pollution* [En ligne]. 2010, n° 158(2), p. 483-489. (Consulté le 20/08/2021).

**Amir S., Hafidi M., Merlina G., Hamdi H., Revel J.C., 2005.** Fate of polycyclic aromatic Bouzid,I. Développement et évaluation d'une méthode à base de mousse pour l'oxydation améliorée de sols insaturés contaminés par des hydrocarbures. Thèse de doctorat : chimie : université BOURGOGNE FRANCHE-COMPTÉ 2019, 221p.

**Agnan Y.** Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passée en métaux et en azote en France: sources, mécanismes et facteurs d'influence, Thèse de doctorat : Biogéochimie de l'environnement : Université de Toulouse 2013, 307 p.

**Ait Hammou M., Miara M.D., Rebbas k., Slimani A., Ravera S. and Hamer el ain A. (2014)** Mise à jour de l'inventaire des lichens d'Algérie. *1 Revue Ecologie-Environnement* **10**, 75-103.

**Arey J, Atkinson R 2003.** Photochemical Reactions in the Atmosphere. In: P. E. T. Douben ed. PAHs: An Ecotoxicological Perspective Chichester, England.

**Augusto.S , Máguas.C, and Branquinho.C** , Understanding the performance of different lichen species as biomonitors of atmospheric dioxins and furans: potential for intercalibration, *Ecotoxicology*, 18 (2009) 1036-1042.

**Augusto.S, Maguas.C , Matos.J, Pereira.M.J, Soares.A and Branquinho.C**, Spatial modeling of PAHs in lichens for fingerprinting of multisource atmospheric pollution, *Environ. Sci. Technol.*, 43 (2009) 7762-7769.

**Aprile G.G., Catalano I., Migliozi A. and Mingo A. (2011)** Monitoring epiphytic lichen biodiversity to detect environmental quality and air pollution: the case study of Roccamonfina Park (Campania Region - Italy). *In Air Pollution - New Developments*, 227-44.

## **Référence bibliographiques:**

---

**Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.M., (2015).** A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25, 107-123.

**Augusto, S., Sierra, J., Nadal, M., Schuhmacher, M., 2015b.** Tracking polycyclic aromatic hydrocarbons in lichens: it's all about the algae. *Environ. Pollut.* 207, 441e445.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.013>.

Association national pour l'amélioration de la qualité de l'air. Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).disponible sur : <https://www.respire-asso.org/dioxyde-dazote-no2/> , consulté le 01/09/2021.

**Paris, A.** Extractions et analyses des hydrocarbures aromatiques : approches méthodologiques et applications à des matrices fruitières. Sciences agricoles. Normandie Université, 2018.

**Bouteraa, M.** *Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest dans la région de Constantine [En ligne].* Mémoire de Magister : Ecologie et Environnement. Constantine : Université des frères Mentouri, 2014, 200 p (consulté le 13/08/2021).

**Benterrouche I. (2006).** Réponses écophysiologicals d'essences forestières urbaines soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration, 82-86p.

**Branquinho. C, F. Catarino, D. Brown, M. J. Pereira, and A. Soares,** Improving the use of lichens as biomonitors of atmospheric metal pollution, *Sci. Total Environ.*, 232 (1999) 67-77.

**Branquinho. C,** Lichens, in *Metals in the Environment: Analysis by Biodiversity*, M. N. V. Prasad, Ed. New York: Marcel Dekker (2001) 117-158.

**Ben Rejeb K, Abdellyet C et Savouré A. (2012).** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui*, volume 206, numéro 4.

**Bargagli R. (1993)** Plant leaves and lichens as biomonitors of natural or anthropogenic emissions of mercury. *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment. B.*

**Barnea M., Ursu P. (1974).** Pollution et protection de l'atmosphère. Ed. Eyrolles, Paris.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Dizer, H., Hansen, P.D., 1999.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments and mussels (*Mytilus edulis*) from Western Baltic Sea: occurrence, bioavailability and seasonal variations. *Marine Environmental Research* 47, 17–47.

**Belarbi k,** « Etude de la pollution atmosphérique par les particules et les métaux lourds (Cr, Zn, Cd.....) au niveau de la ville d'Alger», thèse de doctorat en spectrochimie et méthodes d'analyses universite ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEM, 2019,140p.

**Berg T. and Steinnes E. (1997b)** use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution* 98, 61-71.

**Berlizov A.N., Blum O.B., Filby R.H., Malyuk I.A. and Tryshyn V.V. (2007)** Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *The Science of the Total Environment* 372, 693-706.

**Blandin p., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol.* 17-4, 215-307.

**Bourgoin - Bareilles, A., 2000-** Guide de l'environnement. Edition. Frison-Roche. pp : 104-109.

**Blasco. M,** Domeno.C , P. Lopez, and C. Nerin, Behaviour of different lichen species as biomonitors of air pollution by PAHs in natural ecosystems, *J Environ Monit*, 13 (2011) 2588-2596.

**Boussabouaa K. (2010).** Etude des Emissions Polluantes et des Moyens de Dépollution dans Brown, D.H., 1987. The location of mineral elements in lichens: implications for metabolism. *Bibl. Lichenol.* 25, 361-375.

**Büdel B. and Scheidegger C. (2008)** Thallus morphology and anatomy. In: *Lichen Biology* T. Nash, III (Ed.), pp. 40-68.

**Busti, D.** Xanthorie des murailles ou caloplaque ? Consulté le 09 12, 2021, sur université de lyon : <http://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/image-de-la-semaine/images-de-2012/semaine-15-09-04-2012>

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Catalyud A. and Barreno E.** (2004) Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipids peroxidation. *Plant Physiology and Biochemistry* 42, 549-55.

**Chahin, A.** Bioindicateurs métaboliques de l'exposition des ruminants laitiers aux hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP). Thèse doctorat : ressources procédés produits Environnement : institut national polytechnique de LORRAINE 2010,196p.

**Catinon M. (2010).** Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. Thèse de Doctorat : Université de Joseph Fourier - Grenoble I 206 p.

**Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., Pan, Y., 2006.** Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International*, 32, 815–830.

**Cypres, R., Bettens, B., 1975.** La formation de la plupart des composés aromatiques produits lors de la pyrolyse du phénol, ne fait pas intervenir le carbone porteur de la fonction hydroxyle. *Tetrahedron Pergamon Press*, 31, 359-365.

**Clauzade G., Roux C. (1987)** : Généralités sur les lichens et leur détermination. Bulletin de la société botanique du centre-ouest, Dignac (France) nouvelle série, tome 18, pp 147-214.

Collombet C. (1989) Lichen d'island et lichen pulmonaire, These de Doctorat: Université de Joseph Fourier, Grenoble I 115 p.

**Conti M.E. and Cecchetti G. (2001)** Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environmental Pollution* 114, 471-92.

**Cuny D. (2012.)** La biosurveillance végétale et fongique de la pollution atmosphérique : concepts et applications. *Annales Pharmaceutiques Françaises* 70, 182-7.

**Cuny D., Rzepka M.A. and Van Haluwyn C. (2008).** Introduction à la biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air – concept et intérêt. *Spectra Analyse* 264, 31-5.

**Cheikh M'hamed, H ; Abdellaoui, R .** Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare* L) cultivée en Tunisie : Approche physiologique [**En ligne**]. 2008, N° 28, p 30-37. (Consulté le 19/08/2021).

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Duinker.J.C and F. Bouchertall**, On the distribution of atmospheric polychlorinated biphenyl congeners between vapour phase, aerosols and rain, Environ. Sci. Technol., 23 (1989) 57-62.

**Degobert P. (1992)**. Automobile et pollution atmosphérique. Ed. Technip, Paris.

**Deletraz G., Paul E. (1998)**. State of the art for the study of transportation impacts in the vicinity of roads and highways. Rapport intermédiaire, université Josef Fourier- université de Pau et des pays de l'Adour, France.

**Dajoz, R. (1985)**-Précis d'écologie.Ed.Dunod, paris, 489 p.

Dellaa Y(2003). Utilisation des végétaux dans l'approche écotoxicologique de la pollution à une fertilisation avec les boues d'épuration, 82-86p

**Deruelle, S Et Lallemand, R (1983)** -Les lichens témoins de la pollution. Thèmes Vuibert, université biologie, 103p.

**Dron, J ; Austruy, A ; Agnan, Y ; et al.** Utilisation de la biosurveillance lichénique sur la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer : retour sur trois ans de suivi à l'échelle d'un territoire intercommunal pollution atmosphérique [En ligne]. 2016, N°228, 14p.(Consulté le 25/09/2021).

**Douibi, C.** Biodiversité lichénique de la région de Sétif et sa bio-indication dans la pollution atmosphérique, Thèse de doctorat : Valorisation et Protection de la Biodiversité Végétale : Université Ferhat Abbas Sétif 1 2020,172p.

**Desalme, D.** Contamination atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques : toxicité et devenir du phénanthrène dans des systèmes sol plante microorganisme [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la vie et de l'environnement. Pari : Université de Franche-Comté, 2011, 135p. (Consulté le 27/07/2021).

**DJAMAI, F-D ; BENSLAMA, R-M.** Bio - indication de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures totaux du complexe pétrochimique de Skikda (nord-est algérien) à l'aide d'une espèce lichénique épiphyte Xantho [En ligne].2009, 7p. (Consulté le 05/08/2021).

**El Jaafari, S. 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat.Univ.Gembloux.Belgique : 214p.

**Edwards, N.T., 1983.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the terrestrial environment – a review. J. Environ. Qual. 12, 427–431.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Ellis K.M. and Smith J.N. (1987).** Dynamic-model for radionuclide uptake in lichen. *Journal of Environmental Radioactivity* 5, 185-208.

**EPAQS,1999.** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. In F. R. A. Department for Environment. Expert Panel On Air Quality Standards. London: The Stationery Office.

**Feurerer T. and Hawksworth D.L. (2007)** Biodiversity of lichens, including a world-wide analysis of checklist data based on Takhtajan's floristic regions. *Biodivers. Conserv* **16**, 85– 98.

**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 Agroressources, 54, 55, 56-320).

**Friedl T. and Büdel. B. (2008).** Photobionts. In T. Nash, III (Ed.), *Lichen Biology Cambridge: Cambridge University Press*, 9-26.

**Inventaire National du Patrimoine Naturel(INPN) [en ligne].** (6 décembre 2017). Disponible sur : [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/59568/tab/fiche](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/59568/tab/fiche) (consulté le 28/08/2021).

**I.N.S.P (2007).** Bilan des données de pollution par les poussières (PM10) au niveau d'Alger de 2001 à 2006. Institut National de Santé Publique, Unité Santé-Environnement, Alger, 27 p.

**IARC (International Agency for Research on Cancer),** Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures, *Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 92 (2010) 765–771.

**Jahns H.M. (2007)** Guide Des Fougères, Mousses et Lichens d'Europe. Delachaux et Niestlé SA, Paris.

**Goujon M. (2004).** « Connaître pour agir », publication de l'Agence régionale de l'environnement de Haute-Normandie. AREHN.

**Guidotti. G, D. Stella, M. Owczarek, A. de Marco, and C. de Simona,** Lichens as polycyclic aromatic hydrocarbons bioaccumulators used in atmospheric pollution 18 studies, *J. Chrom. A*, 985 (2003) 185-190.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Garrec, et al.**, Biosurveillance Végétale de la qualité de l'air. Ed : TEC & DOC. Paris : Lavoisier, 2008, 117 p.

**Garrec J.P. and Livertoux M.H. (1997)** Bioindication végétale de l'ozone dans l'agglomération nancéenne durant l'été 1996. *Pollution atmosphérique*, 78-87.

**Garrec J.P. and Van Haluwyn C. (2002)**. Bio surveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Ed : Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

**Godoi, A.F.L., Ravindra, K., Godoi, R.H.M., Andrade, S.J., Santiago-Silva, M., Van Vaeck, L., Van Grieken, R., 2004**. Fast Chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol samples from sugar cane burning. *Journal of Chromatography A* 1027, 49–53.

**González-Tejero, M.R., Martínez-Lirola, M.J., Casares-Porcel, M. & Molero-Mesa, J., 1995**. Three lichens used in popular medicine in Eastern Andalusia (Spain) . *Economic Botany*, 49 (1), 96-98. DOI:Résumé

**Hawksworth D.L. and Rose F. (1976)** Lichens as pollution monitors. Edward Arnold, Londres.

**Hawksworth D.L. and Rose F. (1970)** Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227, 5-14.

**Honegger R. (2008)**. Mycobionts. In: *T. Nash, III (Ed.), Lichen Biology Cambridge: Cambridge University Press*, pp. 27-39.

**Khelil, R.** Bioindication et bioaccumulation : Deux modèles biologiques pour la détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures dans la région de Ouargla [En ligne]. Thèse de doctorat : Agronomie Saharienne. Ouargla : université Kasdi Merbah, 2016, 260 p. (consulté le 10/09/2021).

**Kipopoulou A.M., Manoli E. and Samara C. (1999)**. Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables grown in an industrial area. *Environmental Pollution* 106, 369-80.

**Kim K.-H., Jahan S.A., Kabir E. and Brown R.J.C.**, A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects, *Environment International*, 2013, vol. 60, p. 71-80.

## ***Référence bibliographiques:***

---

- Kislov, V.V., Sadovnikov, A.I., Mebel, A.M., 2013.** Formation mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbons beyond the second aromatic ring. *The Journal of Physical Chemistry A*, 117, 4794–4816.
- Lagadic L., Caquet T. and Amiard J.C. (1997)** Biomarqueurs en écotoxicologie : principes and éfinitions. In: Ramade, F. (Eds.), \*-Biomarqueurs en écotoxicologie : aspects fondamentaux. Masson, Londres, Paris, New York, pp. 1-9.
- Lannero. M , Wickman.M, van Hage.M, Thorax 63 (2008)** 172–176. ed. *PAHs: An Ecotoxicological Perspective* Chichester, England.
- LAURENT B., AHMED B., 1991-** la germination des semences en conditions sèches. Science et changements planétaire/sécheresse .Vol2, pp 239-49.
- Lagadic L., Caquet T. and Amiard J.C. (1997).** Biomarqueurs en écotoxicologie : principes and définitions. In: *Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Eds.), Biomarqueurs en écotoxicologie : aspects fondamentaux.* Masson, Londres, Paris, New York, pp. 1-9.
- Loppi S., Nelli L., Ancora S. and Bargagli R. (1997).** Passive monitoring of trace elements by means of tree leaves, epiphytic lichens and bark substrate. *Environmental Monitoring and Assessment* 45, 81-8.
- Leoz-Garziandia, E., 2001.** Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP). Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air. Rapport INERIS Convention 41/2000.
- Markert B.A., Breure A.M., and Zechmeister H.G., 2003:** Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment, in B. A. Markert, A. M. Breure, and H. G. Zechmeister (eds.), *Bioindicators & Biomonitoring: Principles, Concepts and Applications*, Elsevier, Amsterdam, pp. 3–39.
- Marsy S.** Xanthoria parietina. In : Les espèces [En ligne]. (17 juin 2015) Disponible sur : <http://enquetelichensauvergne.mnhn.fr/xanthoria-parietina/> (Consulté le 27/08/2021).
- Mayer H.** Air pollution in cities [Revue] // Atmospheric Environment. - 1999. - Vol.33. - pp. 4029-4037.
- Oksanen.I,** Ecological and biotechnological aspects of lichens, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 73 (2006) 723-734.

## ***Référence bibliographiques:***

---

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

**McLachlan M. S and M. Horstmann,** Forests as filters of airborne organic pollutants, Environ. Sci. Technol., 32 (1998) 413-420.

**Michelaur.** Plantes. Lichen Xanthoria parietina. In : Herbar [en ligne]. (29 Janvier 2011). Disponible sur : [http://www.foretsenaulnoye.fr/index.php?view=article&id=108%3Aherbierlichen-xanthoria-parietina&option=com\\_content&Itemid=34](http://www.foretsenaulnoye.fr/index.php?view=article&id=108%3Aherbierlichen-xanthoria-parietina&option=com_content&Itemid=34) (consulté le 12/08/2021).

**Migaszewski, Z.M ; Galuszka, A ; Paslawski, P.** Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols, and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains, South-Central Poland [En ligne]. Environment International 28 (4), 2002, p303-313. (Consulté le 08/09/2021).

**Miet, K.** Etude expérimentale de la dégradation hétérogène des Composés Aromatiques Polycycliques (CAP) d'intérêt troposphérique, Thèse de doctorat : Chimie Analytique Et Environnement : Université BORDEAUX I 2008, 265p.

**Mouissi .S, H. Alayat.** Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la Caractérisation Physico-Chimique des Eaux d'un Ecosystème Aquatique : Cas du Lac Oubéira (Extrême NE Algérien). 30 Apr 2016, 2028-2508, p7.

**Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G., 2003.** Definitions, strategies and principles hydrocarbons during composting of lagooning sewage sludge. *Chemosphere* 58, 449-458.

**Mikhailova, I.N., Sharunova, I.P., 2008.** Dynamics of heavy metal accumulation in thalli of the epiphytic lichen hypogymnia physodes. *Russ. J. Ecol.* 39 (5), 346-352.

**Nam JJ, Thomas GO, Jaward FM, Steinnes E, Gustafsson O, Jones KC. 2008.** Pahs in Background Soils from Western Europe: Influence of Atmospheric Deposition and Soil Organic Matter. *Chemosphere* 70(9): 1596-1602.

**Nash I. and Thomas H. (2008).** *Lichen biology.* Cambridge University Press.

**Nash, T.H., 1996.** Lichen Biology, third ed. Cambridge University Press, pp. 136-153. Chap. 8.

**Nylander, W., 1866.** Les lichens du Jardin de Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 13, 364e372.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Neff, J.M., 1979.** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Sources, Fates and Biological Effects. Applied Science Publication, London, pp. 1–262.

**Ozenda P. and Clauzade G. (1970)** Les lichens étude biologique et flore illustrée MASSON et Cie.

**PAHs position paper, 2001.** Ambient air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

**Ramade, F.** Introduction à l'éco-toxicologie. Fondements et applications. Ed : TEC & DOC. Paris : Lavoisier, 2007, 618 p.

**Ramade F. (2003).** Elément d'écologie fondamentale. Ed. Dunod. Paris, 689 p

**Ravindra, K., Sokhi, R., Van Grieken, R., 2008.** Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. Atmos. Environ. 42, 2895–2921.

**Ravindra, K., Wauters, E., Van Grieken, R., 2008.** Variation in particulate PAHs levels and their relation with the transboundary movement of the air masses. Science of the Total Environment, 396, 100-110.

**Shukla V., Joshi G.P. and Rawat M.S.M. (2010)** Lichens as a potential natural source of bioactive compounds: a review. *Phytochem Rev* 9, 303–14.

**Smith, K.R., 1987.** Biofuels, Air Pollution, and Health—a Global Review. Plenum Press, New York.

**Shukla.V, and D.K. Upreti,** Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) accumulation in lichen *Phaeophyscia hispidula* of DehraDun City, Garhwal Himalayas, Environ. Monit. Assess., 149 (2009) 1-7.

**Shukla, V., Upreti, D.K., 2012.** Air quality monitoring with lichens in India. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Lichtfouse, E., Schwarzbauer, J., Robert, D. (Eds.), Environmental Chemistry for a Sustainable World, vol. 2. Springer, The Netherlands, pp. 277e294. Chap. 7.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Schrlau, J.E, L. Geiser, K.J. Hageman, D.H. Landers, S.M. Simonich,** Comparison of lichen, conifer needles, passive air sampling devices, and snowpack as passive sampling media to measure semi-volatile organic compounds in remote atmospheres., *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2011) 10354-10361.

**Srogi K, 2007.** Monitoring of Environmental Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Review. *Environmental Chemistry Letters* 5(4): 169-195.

**Shukla, V., Upreti, D.K., 2009.** Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) accumulation in lichen, *Phaeophyscia hispidula* of DehraDun city, garhwal himalayas. *Environ. Monit. Assess.* 149, 1e7.

**Steven L. Stephenson. (2010).** Lichens—More Than Just Fungi. Dans *The Kingdom Fungi The Biology of Mushrooms, Molds, and Lichens* Timber press, Inc.

**Soderstrom H, Hajslova J, Kocourek V, Siegmund B, Kocan A, Obiedzinski MW, Tysklind M, Bergqvist PA. 2005.** Pahs and Nitrated Pahs in Air of Five European Countries Determined Using SPMDs as Passive Samplers. *Atmospheric Environment* 39(9): 1627-1640.

**Shen G., Xue M., Wei S., Chen Y., Wang B., Wang R., Lu Y., Shen H., Li W., Zhang Y., Huang Y., Chen H., Wei W., Zhao Q., Li B., Wu H. et Tao S.,** Emissions of parent, nitrated, and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons from indoor corn straw burning in normal and controlled combustion conditions, *Journal of Environmental Sciences*, 2013b, vol. 25, p. 2071-2080.

**Souchon, C.** Les lichens. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, Paris, 1971, n°1434, 124p.

**Takahashi T. and Miyajim Y. (2010)** Effects of roads on alpine and subalpine plant species distribution along an altitudinal gradient on Mount Norikura, central, Japan. *Journal of Plant Research* 123, 741-9.

**Tomaz, S.** Etude des composés polyaromatiques dans l'atmosphère : caractérisation moléculaire et processus réactionnels en lien avec l'aérosol organique. Thèse de doctorat : Chimie analytique. Université de Bordeaux, 2015,402p.

## ***Référence bibliographiques:***

---

**Troll W. et Lindsley G.** (1955). A photometric method for determination of proline *G. Biol. Chem.* 215, 655-660p.

**Tankari Dan-Badjo, A.** Modalités de contamination du ray-grass par les éléments du groupe platine et les hydrocarbures aromatiques polycycliques à proximité des voies routières [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Sciences Agronomiques, Lorraine : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 2007, 137p. (Consulté le 28/08/2021).

**Tiévant, P, 2001.** Guide des lichens : 350 espèces de lichens d'Europe, Éd. Delachaux et Niestlé.

**Van Haluwyn C. and Lerond M.** (1993) Guide des lichens. Ed. Lechevalier, Paris.

**Van Haluwyn C., Asta J. and Gaveriaux J.P. (2009)** Guide des lichens de France, lichens des arbres. BELIN (Ed.).

**Vergriete, Y. Et Labrecque, M. (2007).** « Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais », Rapport d'étape destiné au Conseil régional de l'environnement de Montréal, [En ligne]. ([http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-pépinière/documents/pdf89 I.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-pépinière/documents/pdf89%20I.pdf)). Page consultée le 20 septembre 2021.

**Van Haluwyn C., Cuny D. and Garrec J.P. (2011)** Introduction générale Définitions, concepts et enjeux généraux de la biosurveillance de la qualité de l'air. *Pollution atmosphérique*, 7-12.

**Ziemski, F. Le Granché, P. in :** DORIS, 11/11/2020 : *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. 1860, <https://doris.ffesm.fr/ref/specie/1991> (consulté le 11/09/2021).

**Zenata K.** La pollution urbaine dans la wilaya d'Oran. Mémoire de Magister, Université d'Oran, Algérie. 2008.