

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

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

**Bio-accumulateur de la pollution
atmosphérique à Akbou**

Présenté par :

Chouache Ikram & Hamidouche Maya

Dépose le : 16 /07/2022

Devant le jury composé de :

Mme Kherfallah T	MAA	Président
Mme Benaissa F	MCA	Encadreur
Mr Moussaoui R	MCB	Examineur

Remerciements

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

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide de l'encadreur Mme **Benaissa Fatima** nous la remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnelle, pour sa patience, sa rigueur, sa disponibilité pendant notre préparation de ce mémoire.*

Un merci très particulier pour Mr Bakouri, et l'ingénieur du laboratoire biochimie qui nous ont vraiment aidés dans nos moments les plus difficiles pour réaliser ce travail.

Nos remerciements les plus sincères aux membres du jury pour avoir accepté de prendre un peu de leur précieux temps afin de juger ce modeste travail.

Nous remercions également tous les enseignants du département des Sciences Biologiques et de l'Environnement et tous nos camarades de Master 2 Toxicologie Industrielle et environnementale promotion 2022.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire, vous avez toute notre reconnaissance.

Dédicaces

Dieu merci 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 et du bonheur.

Du profond de mon cœur je dédie ce modeste travail :

*A celui qui m'a donné la vie, la joie et la persévérance, à celui qui m'a appris à vivre, à espérer et à pardonner, à celui qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger : Mon cher père **NACER**.*

*A celle qui a éveillé en moi la tendresse et la force, la responsabilité et la tolérance, la joie de vivre et la dignité, à celle qui m'a soutenue et encouragée durant ses années d'études, en un seul mot, à mon ange gardien : Ma chère mère **NAZIHA**.*

*Nos âmes s'attendrissent et se remplissent à l'unisson de bonté. Vous fusionniez tout dans vos êtres en quête d'amour et de survie. Ce que tu n'as pas dit ou caché lorsque vous viviez sur terre. **Sara, Rayan** vous êtes bien là où vous revis dans nos **mémoires**.*

*A mon cher frère **Malek**, qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu le protège et lui offre la chance et le bonheur.*

*A mes chères amies, **Assia, Sabrina, Lynda, Sara, Nassim** et **Syphax** Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles*

*Sans oublié ma binôme **Ikram**, pour son soutien, sa compréhension tout au long de ce mémoire.*

A nos camarades et profs de master 2 Toxicologie Industrielle et a tous les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour ce travail soit possible.

Maya Ham

*Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous avoir guidées vers le droit chemin, de nous avoir aidé tout au long de nos années d'études.
Je dédie ce travail pour mon défunt père EL HADJ paix à son âme.*

A ma chère maman NOURA pour son soutien moral et ses conseils précieux tout au long de mes études.

A mes chères sœurs, IMAN, AMINA, ROUMAISSA pour leurs aide et Encouragements dans les moments difficiles.

A mes beaux frères HANI et NASSRADDINE pour leur entente et leur sympathie.

ET dédicace spéciale à mon pot HSSISSAN qui ma donné la force et la volonté pour continuer ce travail

Sans oublier surtout mon binôme MAYA pour sa bonne humeur, son encouragement, et surtout pour son aide et son support dans les moments difficiles

Ch. IKRAM

Remerciements	
Dédicaces	
Abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	01
Chapitre 01 : généralité sue la pollution atmosphériques.....	02
Introduction.....	03
1. polluants atmosphériques	03
1.1. Particules en suspension.....	03
1.2. Métaux lourds.....	03
1.3. Composés organiques volatiles COV.....	04
1.4. Hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP.....	04
1.4.1. Sources des hydrocarbures HAP.....	04
1.4.2. Classification des HAP.....	05
1.4.3. Devenir des HAP dans un milieu atmosphérique.....	06
1.4.3.1. Volatilisation.....	06
1.4.3.2. Evaporation.....	06
1.4.3.3. Oxydation.....	06
1.4.3.4. Bio dégradation.....	06
1.4.4. Méthodes d'extraction des HAP dans un matériel végétal.....	06
1.4.4.1. Technique d'extraction par solvant	07
1.4.4.2. La Procédure d'évaporation de solvant.....	07
1.4.4.2. 1 Concentration par évaporateur rotatif	09
1.5. Impact de la pollution atmosphérique.....	09
1.5.1. Impact sur la santé.....	09
1.5.2. Impact sur les écosystèmes.....	10

1.5.3. Impact sur la végétation	10
2. Notion de la bio surveillance.....	12
2.1. Démarches de la bio surveillance active et passive.....	12
2.1.1. Démarche de la bio surveillance passive.....	12
2.1.2. Démarche de la bio surveillance active	13
2.3. Différentes approches de bio surveillances	13
2.3.1. Bio indicateurs.....	13
2.3.2. Bio marqueurs.....	13
2.3.3. Bio intégrateurs.....	13
2.3.4. Bio accumulateurs.....	13
2.4. Bio surveillance par les végétaux.....	14
2.5. Avantages et limites de bio surveillances	14
3. Lichens.....	14
3.1. Nutrition des lichens.....	15
3.2. Principaux critères et identification des lichens.....	15
3.3 Aspect de thalle des lichens.....	15
3.3.1. Thalle gélatineuse	15
3.3.2. Thalle crustacées.....	15
3.3.3. Thalle folliacées.....	15
3.3.4. Thalle fruticuleux.....	15
3.3.5. Thalle squamuleux.....	16
3.3.6. Thalle composites.....	16
3.4. Structure anatomique des lichens.....	16
3.4.1. Lichen homéomère.....	16
3.4.2. Lichen hétéromère.....	16
3.5. Reproduction des lichens.....	17
3.5.1. Reproduction sexuée.....	17

3.5.2. Reproduction asexuée.....	17
3.6. Ecologie des lichens.....	17
3.7. Intérêts des lichens	18
3.7.1. Utilisation industrielle.....	18
3.7.2. Utilisation en bio indication.....	18
3.8. Bio accumulation par les lichens.....	19
Chapitre 02 : Matériels et Méthodes	20
Introduction.....	21
1. Présentation de la zone d'étude.....	21
1.1.Situation géographique.....	21
1.2.Caractéristiques climatiques.....	21
1.2.1 Température.....	22
1.2.2 Précipitation.....	22
1.2.3. Vent.....	22
1.2.4. Humidité.....	23
2. Procédure de l'étude.....	23
3. Plan d'échantillonnage.....	23
3.1. Stations d'échantillonnage.....	25
3.2. Prélèvements des échantillons de <i>xanthoria parietina</i>	26
4. dosage des polluants et des paramètres physiologiques au labo.....	26
4.1. Extraction des polluants	27
4.1.1. Technique d'extraction des HAP par l'appareil soxhlet.....	28
4.1.2. Technique d'extraction des particules en suspension (PM).....	28
4.2. Paramètres physiologiques.....	28
4.2.1. Dosage de la chlorophylle.....	29
4.2.2. Dosage de la proline.....	30
Analyse statistique des résultats.....	31

Chapitre 03 : Résultats et discussion	32
Introduction.....	33
1. Paramètres de pollution.....	33
1.1.Particules en suspension.....	33
1.2.Hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	35
2. Paramètres physiologiques.....	37
2.1.Chlorophylle (ch.a).....	37
2.2.Chlorophylle (ch.b).....	39
2.3.Chlorophylle (ch. Ab).....	41
2.4.Proline.....	42
3. Analyse en composantes principales.....	45
3.1.Cercle de corrélation.....	45
3.2.Distribution des individus de corrélation.....	47
4. Discussion.....	48
Conclusion générale	50
Annexes	53
Références bibliographiques	58
Résumé	63

Abréviations

ACP : Analyse en composantes principales

COV : Composants organiques volatiles

COVNM : Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques

Chl a: Chlorophylle a

Chl b: Chlorophylle b

Chl a+ b: Chlorophylle ab

CH4 : Méthane

HAPs : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

LLE : Extraction liquide-liquide

Max : Maximale

MEPS : Micro-extraction par solide compacté

Min : Minimale

MF : Matière Fraiche

P : précipitations

P (Hct): poids des hydrocarbures totaux

Ptp : poids du tube plein

Ptv : poids du tube vide

Pe : poids de l'échantillon

PM : Particules en suspension

SLE : Extraction solide- liquide

SPE : Extraction sur phase solide

SPME : micro-extraction en phase solide

SBSE : Extraction par sorption sur barreau magnétique

SPDE : Extraction dynamique en phase solide

USEPA : US Environmental Protection Agency's.

UV : Ultraviolet

Liste des figures

Figure 01 : Présentation de la structure chimique des 16 HAP prioritaires par l'USEPA.....	05
Figure 02 : Structure anatomiques des lichens.....	16
Figure 03 : Rose des vents pour la région d'Akbou.....	23
Figure 04 : Schéma simplifié le protocole d'étude d'accumulation des HAP , PM, Chlr et la proline sur le thalle de <i>xanthoria pareitina</i>	24.
Figure 05 : lustrations des stations d'étude définie pour un rayon de 5 km.....	25.
Figure 06 : Prélèvement(a) et conservation (b) des échantillons.....	26.
Figure 07 : Extraction des HAP à l'aide de Soxhlet.....	27
Figure 08 : Récupération des extraits dans le creuset (a) et évaporation des solvants au bainmarie (b).....	28.
Figure 09 : Filtration des échantillons avec papier Wattman.....	28.
Figure 10 : Broyage (a) de thalles dans un mortier et la centrifugation de la solution (b)....	29
Figure 11 : Coloration en rouge de la proline.....	30
Figure 12 : Variation des concentrations moyenne des PMs ($\mu\text{g/g}$ MF) déposées sur les thalles de <i>Xanthoria pareitina</i> selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022).....	34
Figure 13 : Variation des concentrations moyenne des HAPs, ($\mu\text{g/g}$ MF) déposées sur les thalles de <i>Xanthoria pareitina</i> selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022)....	36.
Figure 14 : Variation des concentrations moyenne de la chlorophylle a selon les stations d'échantillonnage à Akbou.....	38
Figure 15 : Variation des concentrations moyenne de la chlorophylle (c h. b) selon les d'échantillonnage à Akbou.....	40
Figure 16 : Variation des concentrations moyenne de la chlorophylle (c h. ab) selon les d'échantillonnage à Akbou.....	42
Figure 17 : Variation des concentrations moyenne de la proline selon les d'échantillonnage à Akbou.....	44
Figure 18 : cercle de corrélation entre les paramètres polluants et les paramètres physiologiques.....	45

Liste des tableaux

Tableau I. différents types d'extraction et leurs caractéristiques	08
Tableau II. Différents types d'extraction avec support.....	11
Tableau III. Avantages et inconvénients des approches de bio surveillances	12
Tableau IV. Rôle des compartiments d'environnement dans les lichens	17
Tableau V. Types des lichens avec leur substrat.....	18
Tableau VI. Données climatiques pour la région d'Akbou.....	22
Tableau VII. Localisation et caractéristiques des stations d'échantillonnage.....	25
Tableau VIII. Résultats de test de l'ANOVA ou du KRUSKAL wallis.....	35
Tableau IX. Matrice de corrélation entre des différents paramètres.....	46

Introduction générale

Introduction générale

En Algérie la détection et la mesure de la pollution atmosphérique sont à l'ordre du jour. En effet, il y a plus de quatre décennies que les autorités publiques ont pris conscience des problèmes de l'environnement notamment celui de la pollution.

Depuis longtemps L'Algérie à un problème aigu de pollution atmosphérique urbaine et industrielle. Cette dernière est due essentiellement à la combinaison de différentes sources : complexes et unités industrielles, urbanisation anarchique, développement des voies de communication et extension du parc automobile engendrant de multiples sources d'émanation non contrôlées (**Rahali, 2002**).

La surveillance classique de la pollution atmosphérique obéit à des contraintes spécifiques qui demande le déploiement de techniques élaborées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants surveillés sont dosés ; la bio surveillance.

La bio surveillance 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 suivre l'évolution de celle-ci (**Garrec et Van Haluwyn, 2002**). Depuis le début des années 1990, une trentaine de pays européens ont mis en place un réseau de bio surveillance des retombées atmosphériques à l'aide des végétaux : lichens, mousses, etc.

De nombreux laboratoires, en Algérie, s'occupent de la détermination des substances chimiques nocives pour les végétaux dans l'air des villes et des complexes industriels ; ainsi, plusieurs chercheurs **Maatoug .M, Ait hammou.M, Sarmoum. M. (2011)** Ont démontré que les plantes sensibles peuvent être de véritables bio-indicateurs de pollution. En particulier, la technique de « bio surveillance » la plus adoptée est celle qui utilise des organismes qui ont la capacité de stocker les polluants dans leurs tissus, les « bio-accumulateurs », suite à des mécanismes de fixation et de transfert. Cette méthode s'est imposée comme un complément intéressant des techniques traditionnelles de mesures de la qualité de l'air. L'identification de la pollution au sein d'organismes vivants sensibles permet également de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme. (**Maatoug et al., 2007**). L'approche simple et rapide de ces méthodes originales, celles-ci, en fournissant des informations supplémentaires sur les risques biologiques, apparaissent maintenant comme des méthodes complémentaires et incontournables des

Introduction générale

méthodes physicochimiques de surveillance de l'air (**Leblond, 2004**).

L'objectif de notre étude, consiste à mesurer et doser les éléments polluants in situ, dans des différents sites de la zone industrielle Tahracht-akbou de la wilaya de Bejaia. Il s'agit de la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAPs et les poussières d'origine industrielle par le lichen (*Xanthoria parietina*).

Nous avons structuré le présent manuscrit en trois chapitres :

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

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

Les résultats obtenus ainsi que leur interprétation, seront présentés dans le chapitre III. Nous terminerons par une synthèse des différents résultats et les perspectives.

Chapitre I

Généralité sur la pollution

Atmosphérique

Introduction

La pollution atmosphérique affecte toutes les composantes de l'environnement et sa surveillance dans les régions urbaines et industrielles est devenue une nécessité.

Avant de présenter notre cas d'étude sur la bio surveillance de la qualité de l'air à Akbou, dans le deuxième et le troisième chapitre du présent manuscrit, nous allons tout d'abord donner dans ce présent chapitre quelques généralités sur la pollution atmosphérique organiquement. Puis, nous allons donner un aperçu sur les différentes approches de bio surveillance de la qualité de l'air. En fin nous allons donner quelques généralités sur les lichens et leur utilisation dans la bio surveillance des polluants atmosphériques.

1. Polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques sont de natures métallique ou organique. Ils se trouvent dans l'atmosphère sous forme particulaire ou gazeuse.

1.1. Particules en suspension

Le terme particule désigne généralement une fraction d'un composant (liquide ou solide) en suspension dans un milieu gazeux.

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollutions atmosphériques (**Mazoue et Setra, 1994**).

1.2. Métaux lourds

Désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux : traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants :

Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn). (**Parmentier et Garrec, 1994**).

1.3. Composés Organiques Volatiles (COV)

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux (notés HC), en équivalent méthane ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence. Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH₄) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques (COVNM). (**CITEPA, 2001**).

La composition exacte d'un carburant, qu'il soit produit par combustion ou évaporation, variera considérablement en fonction du carburant et de ses additifs. C'est pourquoi les véhicules à essence et diesel émettent des spectres d'émission différents. Cependant, les émissions totales de COV sont égales, car si les véhicules diesel émettent beaucoup moins de COV par kilomètre, leurs émissions contiennent des concentrations élevées des COV les plus réactifs (composés aromatiques, aldéhydes et oléfines), qui rendent le moteur diesel contribuent de façon plus importante à la formation D'ozone. Les concentrations de composés organiques volatils sous forme gazeuse sont en général 10 à 100 fois supérieures aux concentrations de composés organiques volatiles sous forme de particules. (OCDE, 1995).

1.4. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAPs sont constitués uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène (Cazaunau, 2009).

Les émissions des HAP dans les matières organiques (bois, charbon, pétrole) et est présent dans tous les milieux (air, eau et sol). Ils se forment dans des proportions importantes lorsque la combustion (et tout particulièrement celle de la biomasse) s'effectue dans des conditions mal maîtrisées (par exemple en foyer ouvert).

Ils sont composés de plusieurs noyaux benzéniques faits de carbone et d'hydrogène. Ces noyaux sont accolés de façon linéaire, angulaire ou en grappe.

1.4.1. Sources des hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les HAPs sont rejeté dans l'atmosphère par des sources naturelles (éruptions volcaniques incendies de forêt, etc.) et anthropiques. Ils se forment lors d'une combustion incomplète ou d'une pyrolyse. Certains procédés industriels donnent lieu à la formation de particules ou d'aérosols qui contiennent des HAP. C'est le cas de la fabrication de blocs de charbon (Hoenner, 2006).

1.4.2. Classification des HAP

Les HAP sont classés en deux groupes selon le nombre de cycles benzéniques qui les composent et l'état de condensation de ces noyaux de type phénol : les HAP légers (2 à 3 cycles), de masse molaire comprise entre 150 et 180 g/mol et les HAP lourds (4 cycles ou plus), de masse molaire supérieure à 200 et 280 g/mol (Norini, 2007).

Dans la figure 01, sont présentés les 16 HAPs prioritaires selon l'US Environmental protection Agency's (USEPA)

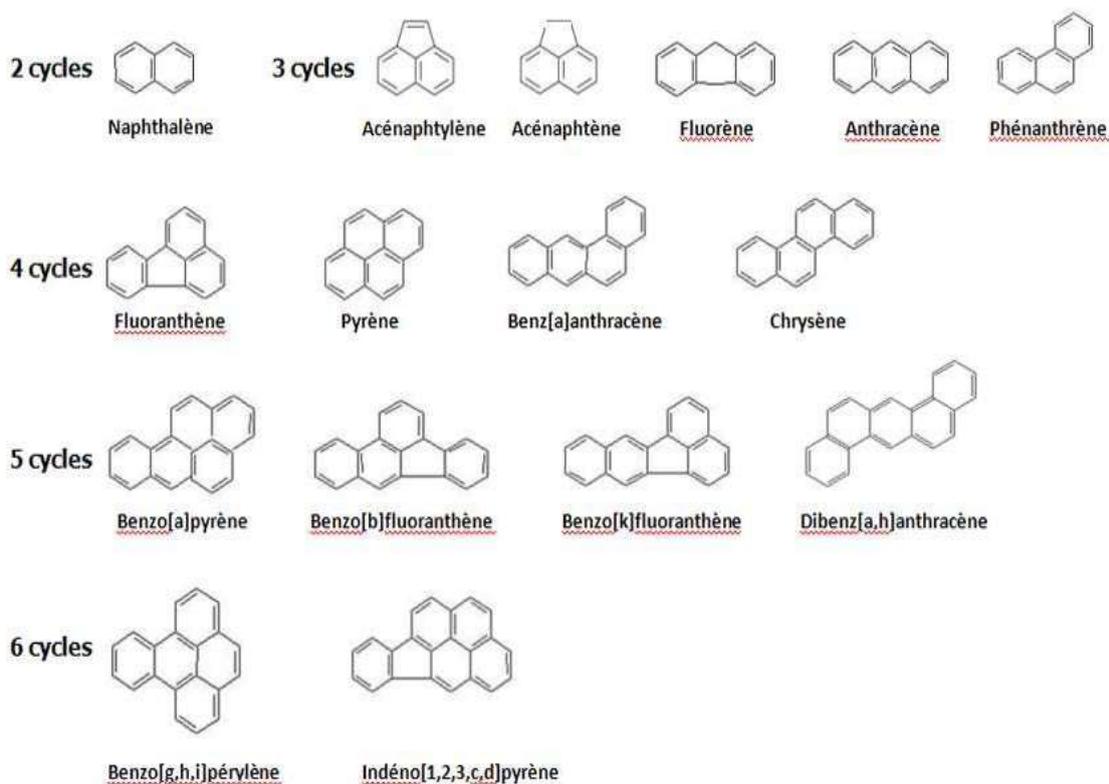


Figure 01 : Présentation de la structure chimique des 16 HAP prioritaires par 1^{er} USEPA.

1.4.3. Devenir des HAP dans un milieu atmosphérique

Les devenir possibles des HAPs, leur transformation et leur dégradation se font via des processus physico-chimiques ou biologiques (volatilisation, oxydation, évaporation, bio dégradation). (Norini, 2007)

1.4.3.1. Volatilisation

. La volatilité d'un composé est définie par le paramètre de pression de vapeur (propriété des composés purs), constante de Henry (propriété des composés) soluble dans l'eau) et la solubilité (plus la solubilité du composé est grande, plus Il est très volatil). Les HAP de bas poids moléculaire sont très Volatil. Dans le sol, la volatilisation est fonction de l'humidité (Ophoff et al, 1996) des niveaux d'adsorption des composés et même du potentiel redox (Wilcke, 2000).

1.4.3.2. Évaporation

Les HAP se forment par évaporation, mais sont principalement libérés lors de la

combustion de matière organique, notamment par les moteurs diesel et le brûlage domestique de bois et de charbon.

1.4.3.3. Oxydation

C'est un processus d'altération des hydrocarbures qui est modulé par différents facteurs, notamment le spectre et l'intensité lumineuse du rayonnement solaire. Sous l'action du rayonnement solaire, essentiellement les rayons UV, certains composés peuvent être oxydés. Les composés produits sont alors plus solubles que les composés initiaux et peuvent être plus toxiques. Les composés saturés ne sont pas affectés, mais la majorité des composés aromatiques sont convertis en résines ou en molécules polaires (Prince, 2003).

Par ailleurs, plus les composés aromatiques sont alkylés, plus ils sont sujets à la photo oxydation. (Garrett, 1998).

1.4.3.4. Bio dégradation

La biodégradation est la transformation biologique d'un composé organique sous une autre forme. Ce mécanisme convertit une substance métabolisable en un composé plus simple, qui peut être moins ou plus toxique que le composé d'origine (biotransformation) et aboutit à un produit final qui est le dioxyde de carbone (minéralisation).

1.4.4. Méthodes d'extractions des HAPs dans un matériel végétal

Les méthodes les plus couramment utilisées pour extraire les hydrocarbures aromatiques des plantes sont les techniques d'extraction par solvant, y compris l'extraction Soxhlet, l'extraction liquide-liquide (LLE) et l'extraction solide-liquide (SLE), qui peuvent être complétées par des ultrasons (UAE), la pression (PLE) ou les micro-ondes (MAE). (Paris A, 2018) Ces techniques d'extraction par solvant sont faiblement sélectives et requièrent généralement une étape de purification qui peut être réalisée par extraction sur phase solide (SPE) ou par chromatographie d'exclusion (Tableau I).

1.4.4.1. Techniques d'extraction par solvant

Techniques d'extraction par solvant Sont des techniques sélectives qui repose sur la solubilité des espèces extraire dans un solvant donné. Le solvant doit alors être non miscible à l'eau, dissoudre facilement l'espèce à extraire et être liquide à la température de l'extraction. (Tableau II)

1.4.4.2. La Procédure d'évaporation de solvant

L'évaporation du solvant est généralement En appliquant par l'utilisation d'un évaporateur rotatif :

1.4.4.2.1 Concentration par évaporateur rotatif

Un évaporateur rotatif est un système dont le but est d'évaporer un solvant afin que L'échantillon soit concentré sur l'analyte. Le principe de la technologie repose sur une grande quantité de solvant qui est à évaporer sous vide. (**Paris A, 2018**).

1.4.4.3 Techniques d'extraction avec support d'extraction

L'extraction des hydrocarbures aromatiques peut également être effectuée par techniques utilisant des supports d'extraction comme dans le cas de la micro-extraction en phase solide (SPME), de l'extraction par sorption sur barreau magnétique (SBSE), de la micro-extraction par solide compacté (MEPS) ou encore de l'extraction dynamique en phase solide (SPDE) (**Paris A, 2018**). Voir dans le tableau II.

Tableau I : Différents types d'extractions et leurs caractéristiques (Paris A, 2018)

Types	Choix de solvant	Caractéristiques
Soxhlet	le dichlorométhane, l'hexane, le cyclohexane et des mélanges tels que hexane/acétone ou cyclohexane/acétone	Méthode d'extraction utilisant la solubilité (même limitée) des composés cibles dans un solvant organique pour les extraire d'échantillons solides et l'insolubilité du reste de l'échantillon dans le solvant choisi.
Extractions (LLE et SLE)	les solvants principalement utilisés pour ces matrices sont généralement sous forme de mélange: hexane/acétone ou cyclohexane/acétone.	Ils consistent à mettre en contact l'échantillon liquide pour la LLE et solide pour la SLE avec un solvant. Les composés d'intérêt à extraire doivent avoir une plus forte affinité pour ce solvant que pour la matrice dans laquelle ils sont contenus. La séparation solide/liquide utilise généralement la centrifugation.
Extraction assistée par les ultrasons (UAE)	Les solvants Utilisés Sont Le Méthanol Et l'acétonitrile	Méthode utilisée pour des échantillons solides. Ce dernier placé dans un solvant d'extraction est soumis à des ondes de pression acoustiques ayant des fréquences généralement autour de 20 kHz. L'utilisation des ultrasons induit une augmentation de la pression et de la température dans le milieu ce qui favorise la pénétration du solvant dans la matrice et améliore la solubilité et la diffusivité des analytes vers le solvant. L'utilisation des ultrasons engendre un déplacement de l'équilibre qui permet de réduire la durée d'extraction.
Extraction assistée par les micro-ondes (MAE)	solvants organiques avec une faible constante diélectrique (hexane, dichlorométhane, toluène, cyclohexane) et de co-solvants polaires (eau, acétone) en faibles quantités sont fréquemment utilisés (Serrano, 2006).	MAE est particulièrement adaptée aux échantillons solides qui sont placés dans un solvant et soumis aux micro-ondes. Ces derniers sont des rayonnements électromagnétiques non ionisants dont les fréquences varient de 300 MHz à 300 GHz. Les rayonnements chauffent le milieu par la rotation des dipôles et la conduction ionique. La chaleur apportée au milieu d'extraction permet la dissolution et le transfert des analytes dans le solvant. MAE utilise une quantité faible de solvant (6 à 30 ml)
Extraction accélérée par solvant (ASE)	L'éthanol, le méthanol, l'hexane, le propane, le dichlorométhane, l'acétone ou l'acétate d'éthyle	Technique d'extraction solide-liquide utilisant des solvants à des températures (50-200 °C) et pressions élevées (3,5-20 x10 ⁶ Pa) mais en dessous de leurs points critiques. Les solvants sont chauffés à des températures supérieures à leur point d'ébullition ce qui réduit leur viscosité ainsi que leur tension superficielle et améliore la solubilité et le transfert des analytes dans le solvant. Les fortes pressions favorisent, la pénétration du solvant dans la matrice solide. L'eau est le solvant le plus utilisé au cours de la procédure
Extraction en phases	Des mélanges de solvants de polarité différente : hexane/dichlorométhane, méthanol/tétrahydrofurane ou iso-octane/cyclohexane).	Est un procédé de préparation d'échantillons dans lequel un composé d'intérêt (dissous ou présent en suspension dans un mélange liquide) est séparé des autres composés dans un milieu en fonction de ses propriétés physico-chimiques.
Chromatographie d'exclusion	le dichlorométhane (DCM) ou le chloroforme	La chromatographie d'exclusion stérique est une technique de séparation en phase liquide est généralement employée comme étape de purification suite à une procédure d'extraction de type soxhlet.

Tableau II. Différents types d'extraction avec support, leurs caractéristiques et historique

Type d'extraction	Historique	Caractéristiques de chaque type
Micro-extraction en phase solide (SPME)	développé par Arthur Pawliszyn au début des années 1990.	La micro extraction en phase solide (SPME) est une technologie de préparation d'échantillons sensible et sans solvant. S'appuyant sur le principe de l'adsorption/absorption et de la désorption, la SPME utilise une fibre enrobée pour concentrer les composés volatils et semi-volatils provenant d'un échantillon.
Extraction dynamique en phase solide (SPDE)	développés par Chromtech (Idstein, Allemagne) sont apparus en 2000	La SPDE met en oeuvre une seringue étanche de 2,5 mL équipée d'une aiguille en acier inoxydable (8 cm) dont l'intérieur est revêtu d'un film d'épaisseur variable, généralement 50 µm d'un mélange de polydiméthylsiloxane (PDMS) et de 10% de charbon actif.
Extraction par Sorption sur barreau magnétique (SBSE)	Par Barthusen et al. 1999 (Bartusson, 1999)	Il est principalement utilisé pour Extraire le composé d'intérêt en phase liquide. SBSE est basé sur Adsorption des analytes sur des films PDMS très épais recouvrant les bâtonnets agitateur électromagnétique.
Micro-extraction par solide compacté (MEPS)	a été utilisée pour la première fois en 2004 par Abdel-Rehim et al.,	Est une méthode d'extraction rapide et facile à utiliser. Implémenter. Les procédures peuvent être automatisées et intégrées aux systèmes analytiques Chromatographie. Cependant, l'échantillon est prélevé à travers la seringue. La PEMS doit être lente et régulière,

1.5. Impact de la pollution atmosphérique

La pollution de l'air a un impact négatif sur la santé, les végétaux, les écosystèmes et les bâtiments. Donc les conséquences de cette pollution sont :

1.5.1. Impact sur la santé

Les Effets de la pollution de l'air sur la santé : cela dépend du type et de la concentration de différents polluants dans l'air, durée d'exposition à ces polluants, conditions générales et âge des populations exposées.

Les polluants atmosphériques pénètrent dans l'organisme par 3 voies possibles :

-les voies respiratoires : par inhalation (voie principale). De nombreuses enquêtes épidémiologiques et tests toxicologiques montrent que les atteintes respiratoires (irritation des muqueuses des voies aériennes et augmentation de certaines pathologies comme l'asthme, bronchiolites, allergies...) sont plus fréquentes dans les zones de forte pollution atmosphérique. La majorité des gaz atteint les alvéoles pulmonaires. Les particules, quant à elles, y pénètrent plus ou moins selon leur taille.

-la voie digestive : par ingestion d'aliments contaminés par retombées des polluants sur le sol et dans l'eau. (Dioxines issues de certains processus de combustion que l'on retrouve dans le lait de vaches, pesticides, métaux lourds).

-les voies cutanées (mode marginal de pénétration) : concerne quelques toxiques (ex : insecticides) pouvant traverser la peau pour pénétrer dans l'organisme et provoquer des pathologies. (Belhadj *et al*, 2015).

1.5.2. Impact sur les écosystèmes

Les polluants atmosphériques sont transportés sur de longues distances. Les apports de soufre et d'azote sont responsables de l'acidification et de la sur-fertilisation des écosystèmes sensibles. À des concentrations élevées, les polluants atmosphériques agissent directement sur les plantes et causent des dommages aigus ou chroniques : en été, des concentrations élevées d'ozone peuvent causer des dommages importants aux feuilles des arbres et aux aiguilles des conifères ; des charges élevées prolongées d'ozone peuvent provoquer des ralentissements. Pendant la croissance des cultures, des pertes de récoltes peuvent résulter. Les pertes de récolte peuvent atteindre 15 % selon le type de culture et les conditions météorologiques.

1.5.3. Impact sur la végétation

Les polluants atmosphériques affectent directement la végétation par le biais de deux processus : l'un est physique, en raison de leur dépôt sur la surface des feuilles. Si le nombre de particules est suffisant, de tels dépôts peuvent gêner les échanges gazeux ou l'absorption de la lumière par la feuille. Sa capacité photosynthétique et sa productivité peuvent alors être altérées et entraîner leur mort progressive (**Tremoulet, 2015**).

Le deuxième processus est chimique et correspond au transfert de produits chimiques présents dans les particules à l'intérieur de la plante. Ce processus peut être préjudiciable ou bénéfique pour les plantes, selon la nature du matériau (nutriment ou toxique) et la quantité de dépôt (l'azote est un nutriment, mais un dépôt excessif peut entraîner des déséquilibres nutritionnels chez les plantes).

Ces particules peuvent également avoir des effets indirects sur la végétation en limitant la lumière qui les atteint, ou en modifiant la composition chimique du sol après leur dépôt (leurs effets sont considérés comme indirects en raison de la présence des rayons qui ont affectés un éventuel transfert de la surface du sol vers les racines puis les tissus végétaux) (**Tremoulet, 2015**).

Les plantes peuvent faire l'objet de lésions aiguës, évaluées par des dommages visibles tels que la nécrose foliaire, la chlorose et des effets sur la physiologie (modulation des échanges gazeux, blocage des stomates, réduction de la transmission lumineuse).

2. Notion de la bio surveillance

La bio surveillance est un ensemble de méthodes basées sur l'observation des changements de la fonction biologique) (**Markert et al., 2003**). **Garrec et Va Haluwyn, 2002**) la définissent comme l'utilisation des réponses au niveau de tous les types biologiques (moléculaires, biochimiques, cellulaires, physiologiques, tissulaires, morphologiques, écologiques) d'un organisme ou groupe d'organismes pour prédire et/ou découvrir les modifications de l'environnement et surveiller son évolution. Elle utilise les organismes pour mettre en évidence les changements de leur environnement (**Cuny, 2012**) et fournit des informations sur la quantité de polluants et leur impact sur les organismes qui entrent en contact avec eux. C'est un excellent outil pour visualiser les effets agressifs des polluants sur l'environnement et un moyen d'approximer leurs effets sur la santé (**Markert et al, 2003**).

2.1. Démarches de la bio surveillance passives et actives

En pratique, on distingue aujourd'hui deux principales démarches de bio surveillance active et passive (Benard *et al.*, 2004).

2.1.1. Démarche de la bio surveillance passive

Les méthodes de bio surveillance passive incluant l'utilisation de matrices environnementales in situ (Merlen, 2015) (c'est-à-dire en utilisant des organismes in situ), impliquent la collecte d'individus naturellement présents dans la zone d'étude (Benard *et al.*, 2004).

2.1.2. Démarche de la bio surveillance active

La démarche de la bio surveillance active consiste à déplacer l'indicateur d'un point à un autre puis à mesurer l'évolution (Merlen, 2015). Par exemple, il peut être utilisé lorsque les méthodes in situ ne sont pas disponibles (il n'y a pas d'organismes répondant aux critères de recherche), ces dernières nécessitant plus de temps. En effet, il faut prévoir du temps pour la transplantation (organismes provenant de zones "saines") d'accumuler les contaminants présents dans le nouvel environnement, la durée de cette phase d'exposition est plus ou moins dépendante du type d'organisme sélectionné et du contaminant étudié (Benard *et al.*, 2004). Les avantages et les défauts de ces démarches sont présentés dans le tableau 03.

Tableau III. avantages et inconvénients des approches de la bio surveillance active et passive (ALZIEU *et al.*, 2003).

Approche	Avantages	inconvénients
passive	-Accessibilité de l'échantillonnage. -Références nationales et internationales	-L'indisponibilité des espèces sentinelles dans certaine zone. -Variations dues à la taille des organismes
active	-Période d'exposition connue -Choix de l'emplacement des stations indépendant de la bathymétrie.	-La variabilité des conditions bioclimatiques. - La variabilité des caractéristiques génétiques des espèces.

2.3. Différentes approches de bio surveillance

En général, on distingue quatre concepts différents de bio surveillance, correspondant à différents niveaux d'organisation et selon l'objectif de la recherche (les bio indicateurs, les bio marqueurs, les bio intégrateurs et les bio accumulateurs).

2.3.1. Bio indicateur

C'est un organisme végétal ou animal qui fait l'objet de mesure permettant d'indiquer la présence ou les effets des polluants (Melquit, 2003).

2.3.2. Bio marqueurs

Parmi le grand nombre de définitions qui ont été proposés, nous retiendrons la suivante : « Le terme de bio marqueurs désigne des changements structuraux ou fonctionnels observables et mesurables, qui prennent place à divers niveaux de l'organisation biologique, depuis la molécule jusqu'à l'organisme pris dans son intégralité, qui traduisent une exposition persistante ou passée d'un individu à une ou plusieurs substances polluantes » (Ramade, 2010).

2.3.3. Bio intégrateurs

Les bio-intégrateurs se situent au niveau de la population et/ou de la communauté même les écosystèmes changements de densité, présence/absence d'espèces. Exemple : diagnostic Eco Lichéneuse pour déterminer l'indice de pureté atmosphérique (Cuny, 2008)

2.3.4. Bio accumulateurs

Les bio-accumulateurs se situent au niveau infra individuel ont un effet visible sur écosystèmes et subit par un changement de densité, présence/absence d'espèces. Exemple : diagnostic Eco Lichéneuse pour déterminer l'indice de pureté atmosphérique (Catinon, 2010).

2.4. Bio surveillance par les végétaux

L'utilisation des plantes pour le bio monitoring de la pollution de l'air s'est fortement développée ces dernières années, en Europe, en Asie, en Amérique du Nord et même en Afrique du Nord. Plusieurs études ont été menées grâce aux travaux de diverses institutions, démontrant que certaines plantes ont des caractéristiques de réponse très rapide et très prononcée, ou très forte accumulation des contaminants présents (Ait

Hammou et al ., 2011).

Les plantes sont des outils importants pour la bio surveillance. Leur diversité offre un large éventail d'organismes disponibles, tels que les lichens, les bryophytes, les plantes supérieures, qui sont spécialisés ou non utilisés pour détecter un grand nombre de polluants atmosphériques (ozone, oxydes d'azote, particules en suspension, métaux lourds, hydrocarbures aromatiques polycycliques), dioxines pesticides...). Dans le domaine de la recherche, les lichens occupent la première place dans la bio surveillance de la qualité de l'air (**Garrec, 2007**).

2.5. Avantages et limites de la bio surveillance

Il semble pertinent de combiner différentes méthodes de bio surveillance en se concentrant sur l'apport de chaque méthode. (**Loppi et al, 1998**).

Les principaux avantages offerts par la bio surveillance sont :

- Approche globale : en étudiant les réponses biologiques, en considérant tous les polluants du milieu, en intégrant les dimensions temporelles et spatiales, est une approche complémentaire aux capteurs physico-chimiques.
- Simplification du protocole : La bio surveillance passive ne nécessite pas d'attentes particulières, seul le matériel biologique ubiquitaire est collecté au moment souhaité, facilitant l'accès aux données.

3. Lichens

Un lichen est un organisme complexe qui résulte de l'union de deux organismes : un champignon et une algue unicellulaire, ou un champignon et une cyanobactérie (**Bauwens, 2003**)

Les lichens ont les propriétés suivantes :

- les activités en cours qui ne sont pas affectées par la saison ;
- métabolisme lent associé à la longévité ;
- grande puissance d'accumulation (**Farou et Guerin, 2015**)

3.1. Nutrition des lichens

La symbiose des lichens suppose un échange entre algues et champignons :

- Les algues apportent une nutrition carbonée par photosynthèse. Il apporte vitamines, protéines et glucides aux champignons ;
- Les champignons assurent protection et drainage aux algues. Il a la capacité de stocker l'eau

dans ses membranes et de la transmettre aux algues à travers ses parois. Cela les rend complètement dépendants de l'atmosphère pour les Nutriments (Foan, 2012).

3.2. Principaux critères d'identification des lichens

- Type de thalle
- Couleur du thalle : brun, vert-bleu, vert, jaune, orangé;
- Les différents organes portés par le thalle :
 - Organe reproducteurs (soralies, isidies, apothécies, périthèces) et
 - organe non reproducteurs (cil, rhizine, poil, fibrille, veines).
- Réactions colorées à la potasse et / ou à l'eau de javel sur le cortex supérieur ou la médulle du thalle (Masson, 2014).

3.3. Aspect de thalles des lichens

3.3.1. Thalles gélatineux

Ils contiennent des algues bleu-vert disséminées dans l'épaisseur des cellules (sans Stratification dorso-ventrale). A l'état sec, ils sont noirs, coriace, cassant. En présence d'eau, ils se dilatent pour produire des substances gélatineuses.

3.3.2. Thalles crustacés

Ils forment une coque solide sur le substrat, sauf pour les petits morceaux. Plus de 80 % des lichens ont Crustacés ; la plupart d'entre eux sont communément appelés micro lichens.

3.3.3. Thalles foliacés

Ils forment des feuilles plus ou moins lobées, se détachent facilement du substrat auquel elles sont parfois attachées par des Rhizomes.

3.3.4. Thalles fruticuleux

Ils sont plus ou moins touffus, plus ou moins ramifiés, de section circulaire ou platier

3.3.5. Thalles squamuleux

Ils forment de petites ou grandes écailles ou des lobes Plus ou moins attaché au substrat, mais facilement détaché du substrat. C'est une forme de transition entre les thalles en forme de coquille et en forme de Feuille. (Ourari, 2010).

3.3.6. Thalles composites

C'est un cas particulier, caractéristique de la famille des Cladoniacées, ces lichens souvent terricoles. Ils sont formés de deux parties bien distinctes :

- Thalle primaire foliacé- squamuleux, plus ou moins adhérents au substrat ;

-Thalle secondaire fruticuleux formé d'éléments se développant plus en moins perpendiculairement au substrat.

3.4. Structure anatomique des lichens

3.4.1. Lichen homéomère

Les lichens homéomères sont enchevêtrés avec l'hyphe fongique sur toute l'épaisseur du thalle. Dans le thalle de *Collema*, les algues sont des cyanobactéries (*Nostoc*). Cependant, nous pouvons observer des bornes supérieures et inférieures corticales

3.4.2. Lichen hétéromère

Ils forment des organes génitaux ou les cellules d'algues isolées ou formées.

La couronne est un thalle mixte composé de l'épithélium et cortex inférieur. Les spores et les hyphes sont distribués dans une superposition ou cercles concentriques : (gonidies et medulla (hyphes)).

Le cortex inférieur peut y avoir des filaments pour la fixation. Ce sont des rhizomes ou base racine (**figure02**)

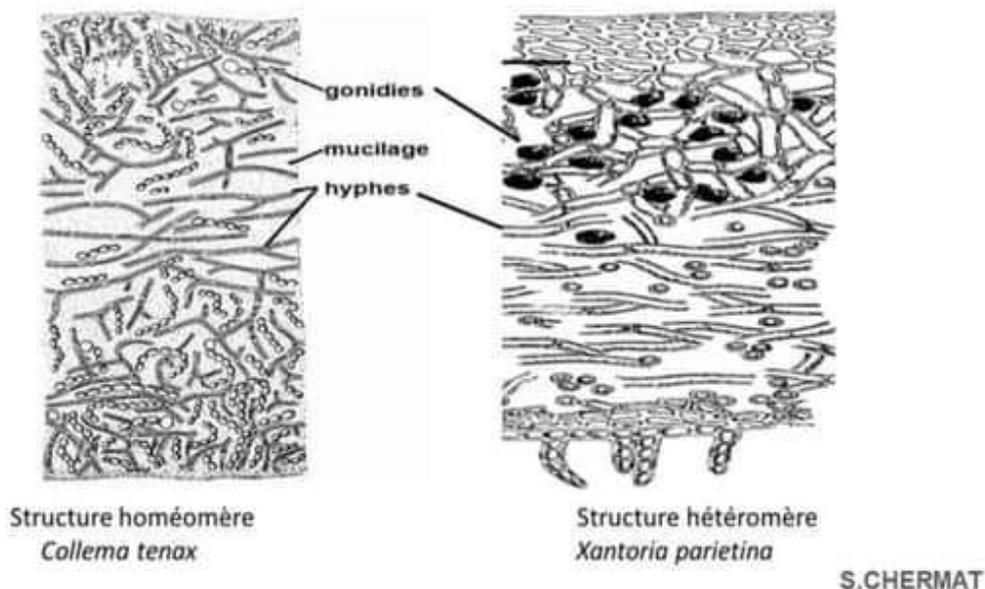


Figure 02 : Structure anatomiques des lichens

3.5. Reproduction des lichens

La propagation des lichens peut se faire de deux manières différentes :

- Reproduction par le partenaire champignon de lichen (reproduction

sexuée)

- Par simple fragmentation de thalle (reproduction asexuée)

3.5.1. Reproduction sexuée

Seuls les partenaires fongiques sont impliqués. Elle court via deux structures : Apothécie (petite coupelle) ou périthèce (petit dôme) a un trou supérieur). Ces spores sont produites dans l'air, pour que les algues se développent.

3.5.2. Reproduction asexuée

La reproduction asexuée du lichen peut se faire par simple fragmentation du thalle, à la suite notamment de contraintes mécaniques (arrachement par le vent, dispersement par les animaux ... etc) (Serusiaux *et al.*, 2004).

La reproduction végétative est assurée par la production de propagules pulvérulentes particulières appelées sorédies, ou par de petites excroissances, les isidies (Raven *et al.*, 2003).

3.6. Ecologie des lichens

Les lichens sont des plantes pionnières qui exploitent une multitude de milieux (tableau IV) et de supports, notamment *Xanthoria pareitina* (lichens épiphytes) (Cuny, 2008).

Tableau IV. Rôle des compartiments d'environnement dans les lichens. (Goujon, 2004)

Facteur	Caractéristiques
L'eau	L'eau intervient dans le passage d'un état de vie lente à un état de vieActif (phénomène de revivre)
Lumière	Toujours bénéfique
Température	Les lichens peuvent supporter toutes les températures possiblesse rencontrent dans différentes parties du globe.
Le vent	agissant directement sur la propagation, ou indirectement sur le Dessèchement

Les lichens existent sous tous les climats et à toutes les altitudes, mais ils sont plus abondants au nord qu'au sud. La distribution des lichens est affectée par différents facteurs : l'eau, la lumière, la température et le substrat (Goujon, 2004).

Selon le type d'environnement et selon certains critères comme la nature du support, Nous pouvons les classer en les types mentionnés dans le tableau V.

Tableau V. Types des lichens avec leurs substrats (Ait hammou, 2015)

Type de lichen	Le substrat
Lichen cortical	l'écorce du tronc ou de la branche
Lichen saxicole	la pierre ou de la roche calcaire
Lichen foliaires	Les persistants
Lichens terricoles	le sol
Tissu d'humus	l'humus
Lichen de bois	le bois mort
Lichen mousseux	la mousse
Lichen nitrophiles	L'azote
Lichen épris sel	Les sels minéraux
Lichens Liché nicoles	Ex : Champignons

3.7. Intérêts des lichens

Les lichens universellement répandus, présentent un intérêt remarquable. Malgré leur faible capacité métabolique, ils jouent un rôle important dans la nature, ils ont été utilisés dès l'antiquité dans plusieurs domaines (Ozenda., 2000).

3.7.1. Utilisation industrielle

Les huiles essentielles de certaines espèces de lichens sont utilisées pour la fabrication de parfums et de savons. Les lichens sont également connus pour la fabrication artisanale de teintures. Enfin, d'autres utilisations telles que la décoration des tables, la confection des maquettes (où ils représentent des arbres) et celle de couronnes funéraires sont courantes dans certains pays (Gregory et Mary, 2004).

3.7.2. Utilisation en bio indication

De nombreuses espèces de lichens ont une écologie très précise de sorte que leur présence est susceptible de donner des indications sur les caractères physiques ou chimiques du milieu considéré. L'utilisation des lichens permet donc d'étudier, par exemple, la chimie et la stabilité des sols, la hauteur moyenne de l'enneigement (certaines espèces ne supportent pas l'humidité permanente due à la couverture nivale), le degré de pureté de l'atmosphère, etc.

3.8. Bio accumulation par les lichens

Les lichens sont utilisés principalement pour la détection de contamination en fluor, métaux lourds et en éléments radioactifs. Parce qu'ils absorbent l'humidité de l'air. Donc ils

sont sensibles à la pollution atmosphérique à des degrés divers, ce qui fait de ces organismes d'excellents « bio accumulateurs » (Bourdial., 2000).

Par ailleurs, leur longévité, leur activité métabolique continue, leur dépendance vis à vis d'apports atmosphériques, et la lenteur de leur croissance, les lichens sont très sensibles aux changements de composition de l'air, et donc de la pollution atmosphérique. Pour les mêmes raisons, ils offrent la possibilité de suivre la pollution sur une grande période. Les lichens intègrent principalement les données globales relatives à la charge de l'atmosphère en effluents acides (Gonjion., 2004).

Le principal intérêt des lichens est leur utilisation possible dans la localisation des zones de pollutions atmosphériques, Ils ont totalement disparu dans les grandes villes industrielles, par contre leur présence indique la pureté de l'air.

À partir de contenu de ce chapitre nous pouvons conclure que les lichens sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques aussi bien gazeux que particulaires. C'est ainsi qu'on a choisi, pour ce travail, le lichen (*Xanthoria parietina*), qui est un lichen foliacé, le seul lichen rencontré dans la zone d'étude (Akbou).

CHAPITRE 2

Matériels et Méthode

Introduction

La bio-indication lichénique de la pollution atmosphérique organique hydrocarbonée est un moyen substitutif et parfois complémentaire aux capteurs physiques. En effet, la flore lichénique recèle des propriétés bio indicatrices évidentes. Depuis environ cinq décennies, de nombreuses méthodes ont été mises au point (**Roux et al ., 2002**). Certaines d'entre elles ont une approche qualitative permettant d'apprécier le degré de pollution à partir d'observations sur terrain (**Roux et al ., 2006**). D'autres sont quantitatives basées sur des formules mathématiques faisant intervenir différents paramètres relatifs à la flore lichénique (**Hawksworth D.L, 1970**).

Dans cette partie nous allons présenter les méthodes utilisées dans notre étude que nous avons effectuée dans la région d'Akbou et qui consiste à l'évaluation de la bioaccumulation des HAPs en utilisant les lichens *Xanthoria Parietina*. Mais nous allons d'abord commencer par la présentation de la zone industrielle de cette région.

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

Ville de l'intérieur du pays, Akbou est situé au centre-est à 200 km d'Alger et à 70 km du port de Bejaïa dont elle dépend, traversée aujourd'hui par la route nationale n° 26 en pleine réfection, l'édification d'Akbou remonte à Mars 1883. Il est situé dans la partie supérieure de la vallée de la Soummam sur le flanc oriental du Djurdjura. Elle est délimitée au nord par Ouzellaguen, à l'est par la rivière de la Soummam, qui la sépare de la commune de Amalou, au sud-est par l'oued Sahel, appelé localement "assif Abbas", qui la sépare de la commune de Ait R'Zine, au sud par la commune de Tazmalt, à l'ouest par la municipalité de ighram et au nord-ouest par la ville de Chellata. Akbou est situé à une altitude moyenne de 280 m, et une latitudes (36° 27' 48'') Nord et longitude (4° 33' 0''). La commune s'étend sur une superficie de 52,18 km², comprenant deux zones distinctes: la zone urbaine et la périphérie avec la plaine d'Azaghar et les Villages de Lazib et du Colonel Amirouche.

1.2. Caractéristiques climatiques

Le climat de la commune d'Akbou est de type méditerranéen tempéré, chaud et sec en été ; froids, pluvieux et humide en hiver (**météorologique de Akbou, 2022**).

Les données climatiques dans la présente étude proviennent de météorologique de la région Akbou (simulation de données climatiques et météorologiques historique pour Akbou-

meteoblue 2022).

1.2.1. Température

À Akbou, les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont long, froid avec des précipitations et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 4 °C à 35 °C et est rarement inférieure à 0 °C ou supérieure à 38 °C.

Le mois le plus chaud de l'année à Akbou est *août*, avec une température moyenne maximale de 34 °C et minimale de 20 °C.

La saison fraîche dure 4,1 mois, du 19 novembre au 23 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 18 °C. Le mois le plus froid de l'année à Akbou est janvier, avec une température moyenne minimale de 4 °C et maximale de 14 °C.

1.2.2. Précipitation

La période pluvieuse de l'année dure 10 mois, du 17 août au 18 juin, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. Le mois le plus pluvieux à Akbou est janvier, avec une chute de pluie moyenne de 88 millimètres. La période *sèche* de l'année dure 2 mois, du 18 juin au 17 août. Le mois le moins pluvieux à Akbou est juillet, avec une chute de pluie moyenne de 5 millimètres.

Les données climatiques a Akbou sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau VI. Données climatiques pour la région d'Akbou (meteoblue 2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jn	Juil	Aou	Sep	Oct	nov	Dé
Min	4	4	6	9	12	17	20	20	17	13	8	5
Moy	8	9	12	14	18	23	27	27	23	19	13	9
Max	14	15	18	21	25	30	34	34	30	25	19	15
P (mm)	80.0	76.2	66.2	59.7	44.0	14.9	5.1	11.9	32.6	44.4	68.4	85.6

1.2.3. Vent

La période la plus venteuse de l'année dure 6,0 mois, du 28 octobre au 27 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 10,2 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Akbou est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 11,1 kilomètres par heure. La période la plus calme de l'année dure 6 mois, du 27 avril au 28

octobre. Le mois le plus calme de l'année à Akbou est juin, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 9,3 kilomètres par heure.

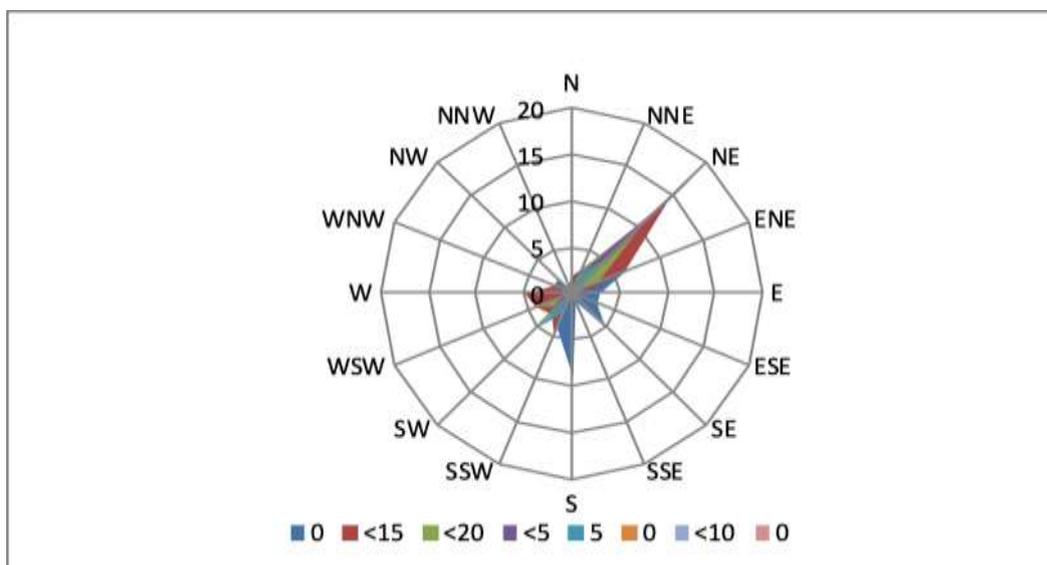


Figure 03 : Rose des vents pour la région d'Akbou (réaliser par chouache et hamidouche)

1.2.4. Humidité

Akbou connaît des variations saisonnières modérées en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 3,3 mois, du 17 juin au 25 septembre, avec une sensation de l'odeur, oppressante ou étouffante au moins 4 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Akbou est août, avec 4,8 jours lourds ou plus accablants. Le jour le moins lourd de l'année est le 27 février, avec un climat lourd quasiment inexistant.

2. Procédure de l'étude

Les travaux de la présente étude, sont déroulés en deux étapes : la première sur le terrain qui s'est déroulée le 22 Mai 2022 et la deuxième au laboratoire. De sa part, cette dernière a été devisée en deux parties, l'une au niveau du laboratoire biologique physico-chimique et l'autre au niveau du laboratoire de recherche Biophysique, biochimie, biomathématique et Scientométrie (3BS). Le schéma en figure 04, présente le résumé du protocole de réalisation de chacune de ces deux étapes.

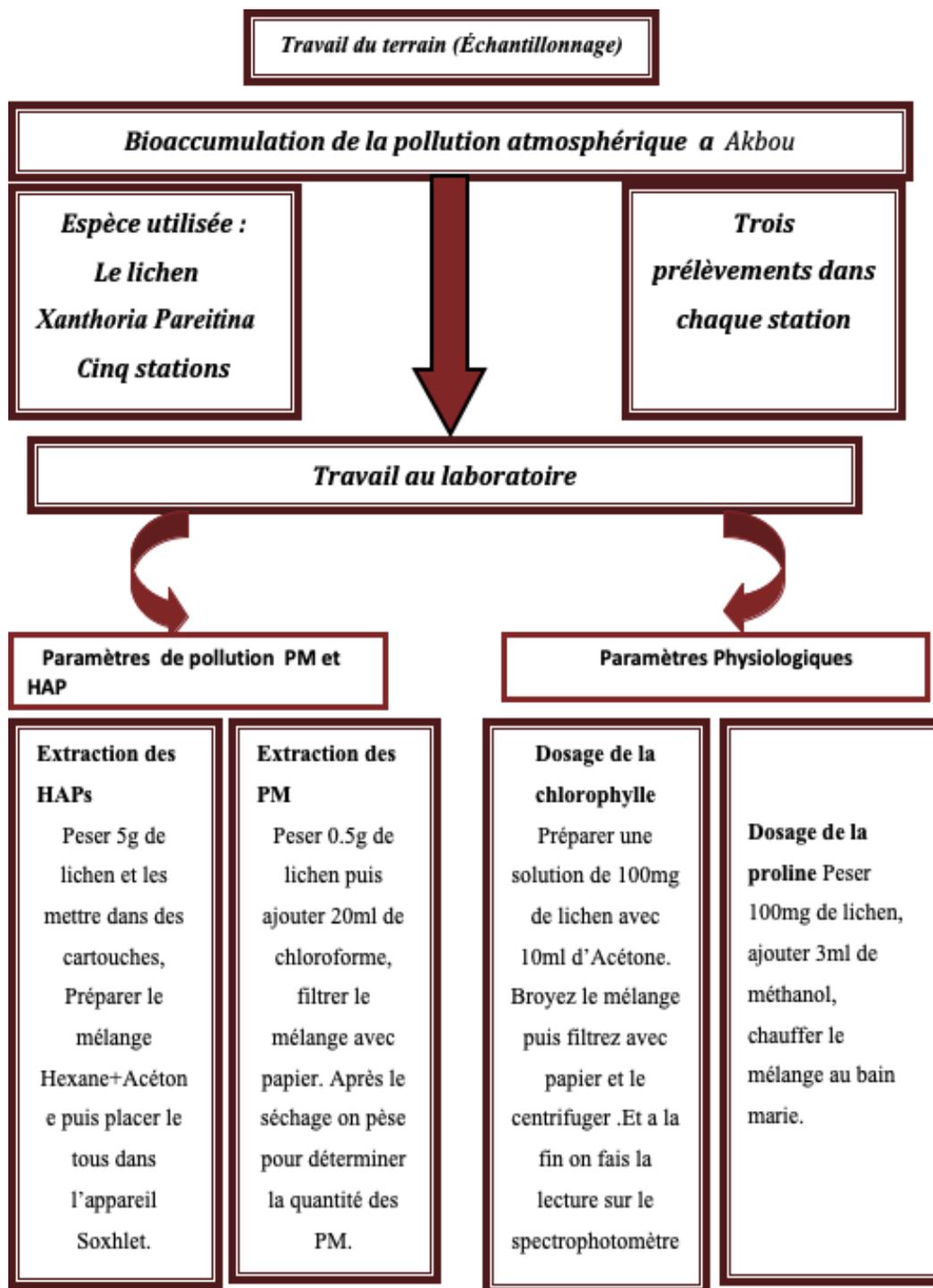


Figure 04 : Schéma simplifié le protocole d'étude d'accumulation des HAP, PM , chlro et la proline par le thalle *Xanthoria parietina*

3. Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué pendant une période de deux mois (Mai et Juin). Au départ et pour couvrir la surface totale de la zone d'étude, on avait choisi aléatoirement dix stations situées à des distances bien définies. On a prévu deux stations au centre de la zone industrielle de Taharracht, quatre stations à un rayon de un kilomètre et quatre autres à un rayon de 5km du point du départ (Tahrracht). Mais après, lors de la réalisation de l'échantillonnage, on a opté uniquement pour cinq (5), en figure 5, parmi les stations prédéfinies. Les cinq autres stations sont écartées de l'étude car elles étaient complètement dépourvues de l'espèce (*Xanthoria Parietina*).



Figure 05 : Illustrations des stations d'étude définie pour un rayon de 5 km (Google earth2022).

3.1. Stations d'échantillonnage

Dans chaque station, les points d'échantillonnage sont sélectionnés selon la présence de l'espèce utilisée (*Xanthoria Parietina*).

Les données concernant les coordonnées géographiques de chaque station sont regroupées dans le tableau VII.

Station 01 (Soummam) : C'est une station très active se trouvant plus proche des activités industrielles, vu sa proximité à l'unité agroalimentaire. Ce qui fait que le couvert végétal est plus ou moins rare.

Station 02 (Thifrith) : Cette station se localise à 5 km de l'unité industrielle de la laiterie Soummam, dans cette station la couverture végétale est faible.

Station 03 (Marché de véhicules et bestiaux) : C'est une station située entre deux unités industrielles de l'eau ; l'usine d' « Ayriss » et celle d' « Ovitale » où la couverture végétale est plus au moins dense.

Station 04 (Hellouane) : C'est une station proche de l'unité industrielle de fabrication des tuyaux en BPAT, où la couverture végétale est dense.

Station 05 (Amalou) : Cette station se localise à une forte distance de l'unité industrielle de Soummam et Ovitale. Elle est caractérisée par la présence de la couverture végétale

Tableau VII. Localisation et caractéristique des stations d'échantillonnage

Station	Latitude N	Longitude E	Altitude (m)	Type d'exposition
Station 01	36°28'14°	4°33'21''	139	Industrielle
Station 02	36°28'48''	4°31'51''	150	Rurale
Station 03	36°26'42 ''	4°31'27''	214	Industrielle
Station 04	36°50'76''	4°57'13''	229	Industrielle
Station 05	36°48'93''	4°61'15''	265	Urbain

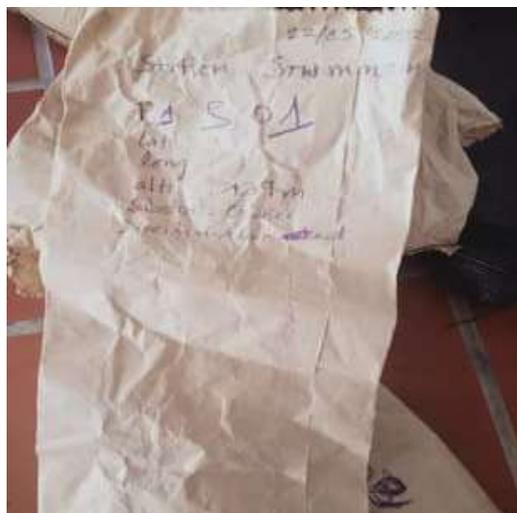
3.2. Prélèvements des échantillons de *Xanthoria Parietina*

De 6 à 12 thalles ont été prélevés sur au moins 3 à 6 oliviers de chaque station. Tous les prélèvements sont effectués le 22/05/2022, après une période de 15 jours sans pluie, à 1,5-2 m de hauteur sur le tronc à l'aide d'un couteau en céramique (a) (**figure 06**)

Les échantillons prélevés ont été mis dans des sacs en papier (b) et transportés dans une glacière (sortie d'échantillonnage à akbou mai 2022)



a



b

Figure 06 : Prélèvement(a) et conservation (b) des échantillons.

4. Dosage des polluants et des paramètres physiologiques au laboratoire

Pour mesurer la quantité de polluants atmosphérique, à savoir les HAP et les PM captés par la végétation du milieu industriel étudié, et pour voir si cette accumulation a un effet sur l'activité physiologique végétale, on avait recours à différentes techniques d'extraction et de dosage.

4.1. Extraction des polluants

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

4.1.1. Technique d'extraction des HAP par l'appareil Soxhlet

L'extraction des HAP accumulés par *Xanthoria parietina*, à l'aide de l'extracteur Soxhlet de modèle (Reihenheizgerat 4) (**figure 07**).

Cette méthode d'analyse est largement utilisée pour n'importe quel échantillon saturé en hydrocarbure (**Fadel, 2010**).

Nous avons pesé 5 g de lichens échantillonnés puis nous les avons placés dans des cartouches en cellulose, préalablement nettoyées avec l'acétone. Les échantillons sont extraits avec un mélange de 120 ml d'Hexane + Acétone) pendant 2 à 3 h

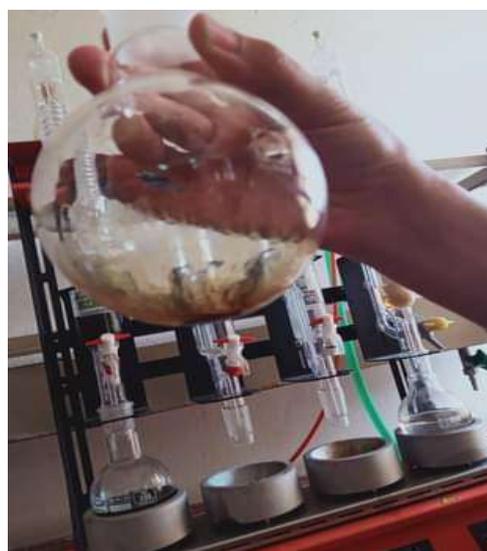


Figure 07. Extraction des HAP à l'aide de Soxhlet

Après 3 heures d'extraction, les creusets de soxhlet ont été vidés de leurs extraits. Ces derniers ont été récupérés dans des tubes à essais. Puis ils ont été passés au bain marie à 65°C pour l'évaporation des solvants (**figure 08**). Ensuite les 15 extraits ont été mis à l'étuve pour le séchage des hydrocarbures. Enfin les extraits ont été pesés par une balance de précision jusqu'à un point constant.



a



b

Figure 08 : Récupération des extraits dans le creuset (a) et évaporation des solvants au bain marie (b).

Les concentrations, en hydrocarbures totaux, sont déterminées de manière indirecte selon la Formule (1).

$$P(\text{HCt}) = (\text{Ptp} - \text{Ptv} / \text{Pe}) * 10^6 \dots \dots \dots (1)$$

P (HCt): poids des hydrocarbures totaux en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Ptp : poids du tube plein

Ptv : poids du tube vide

Pe : poids de l'échantillon.

4.1.2. Technique d'extraction des particules en suspension (PM)

L'extraction des poussières est obtenue par pesé de 500 mg de l'échantillon, puis le filtré avec un papier de wattman par l'utilisation de le chloroforme (figure 09).



Figure 09 : Filtration des échantillons avec papier Wattman

4.2.1. Dosage de la chlorophylle

Dans le but d'évaluer l'effet de la pollution sur la photosynthèse et spécialement sur la chlorophylle des lichens utilisés, nous avons opté pour le dosage de la chlorophylle a et b par le broyage de 100 mg de thalle avec 10 ml d'acétone à 80% (CH_3COCH_3) dans un mortier.

Après broyage total, la solution est ensuite filtrée à l'aide d'un papier filtre et centrifugée à l'aide d'une centrifugeuse (figure 10). Le surnageant a été ensuite mis dans des boîtes noires, afin d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

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

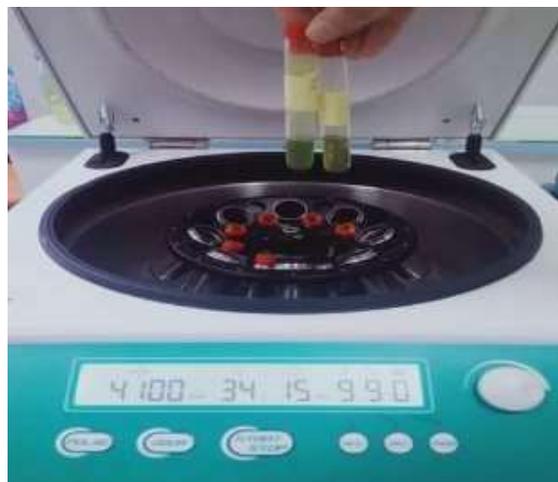
La lecture a été faite à deux longueurs d'ondes 645nm et 663nm et l'étalonnage de l'appareil a été fait par la solution témoin d'acétone à 80%.

Le calcul des valeurs de la chlorophylle a été faite grâce à la formule suivante :

Chla: 12, 7 (DO 663) - 2, 69 (DO 645).....	2
Chl b: 22, 9 (DO 645) - 4, 86 (DO663).	3
a+ b: 8, 02 (DO645) +20, 20 (DO663).....	4



(a)



(b)

Figure 10 : Broyage (a) de thalles dans un mortier et la centrifugation de la solution (b).

4.2.2. Dosage de la proline

Dans un tube à essai ; nous avons ajouté 3 ml de méthanol à 80% à 100 mg de notre matière fraîche et nous avons chauffé le mélange au bain-marie à la température de 85°C pendant 1 heure. On procède ensuite au 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 ortho phosphorique); on ajoute enfin 25mg de ninhydrine. Le dosage de la proline est réalisé selon la méthode de Monneveux et Nemmar (1986).

La solution a été portée à ébullition pendant 30 min jusqu'à la coloration en rouge (**Figure11**) après refroidissement de la solution, nous avons ajouté 5 ml de toluène et nous avons passé à l'agitation du mélange.

Deux phases ont été séparées : Phase supérieure contenant la proline et une phase inférieure dépourvue de proline. Nous avons aspiré la phase supérieure et nous avons passé à sa déshydratation grâce à l'introduction du Na_2SO_4 . nous avons ensuite passé au dosage des échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur D'onde de 528nm.

La courbe d'étalonnage présentée en (**Annexe I**), est obtenue grâce à un mélange (acide Acétique, eau distillée, acide ortho phosphorique et ninhydrine).

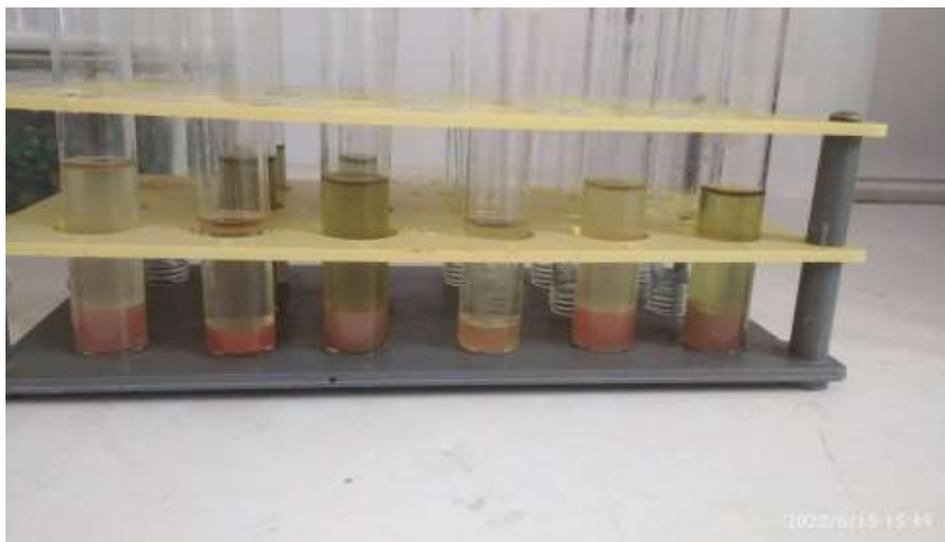


Figure 11: Coloration en rouge de la proline

Les concentrations de la proline de chaque échantillon sont ainsi calculées en utilisant la formule (5) obtenue à partir de la courbe d'étalonnage avec un facteur de détermination

$$R^2 = 0,984$$

$$Y = 0.97842 X + 0.0554 \dots \dots \dots (5)$$

Analyse statistique des résultats

Les données recueillies ont été traitées avec des statistiques descriptives. Nous avons pris en considération les paramètres de positions (moyenne, médiane, valeur max, valeur min..) et aussi les paramètres de dispersion (écart type, variance, erreur type).

Nous avons opté pour un test de l'ANOVA qui est une analyse de variance utilisé pour vérifier si les moyennes des groupes proviennent d'une même population, cette dernière vise à tester les différences significatives entre les moyennes.

Pour tester l'homogénéité nous avons utilisé le teste de Bartlett ce dernier a pour objectif de comparer les variances de deux groupes ou plus où les données doivent être normalement distribuées.

Pour la normalité nous avons effectué le test de Shapiro-Wilk, ce dernier a pour but de savoir si une série de données suit une loi normale.

Parfois les conditions de l'application de l'ANOVA ne sont pas vérifiées, à savoir la normalité et l'homogénéité des variances, nous avons donc effectué le test de Kruskal-Wallis.

Pour les statistiques multi variées nous avons utilisé l'analyse en composantes principales

(ACP) qui est la méthode d'analyse la plus fréquemment utilisée. Elle a pour but d'étudier des ensembles de données multidimensionnelles avec des variables quantitatives, où nous avons intégré les différents paramètres de pollution et les paramètres physiologiques pour voir la corrélation entre ces derniers. Toutes ces analyses ont été effectuées en utilisant l'Excel dans le cas des statistiques descriptives, et le logiciel R « version i386 3.4.1 » pour perfectionner les tests statistiques de l'ACP.

CHAPITRE 3

Résultats et discussion

Introduction

Dans cette partie nous représentons les travaux réalisés sur l'accumulation des particules en suspension ainsi que les résultats obtenus concernant l'accumulation des hydrocarbures aromatiques polycycliques et les différents paramètres physiologiques.

1. Paramètres de pollution

Deux paramètres de pollution ont été dosés à savoir les particules en suspension et les HAPs.

1.1. Particules en suspension (PM)

Selon les statistiques descriptives présentées dans (**Annexe III**), les stations affichent des valeurs similaires de concentrations des PMs. Ainsi, la concentration maximale calculée pour la station 4 qui de (1.647 $\mu\text{g/g}$ MF) est la plus élevée suivie de celle calculée pour la station 2 et qui de l'ordre de 1.26 $\mu\text{g/g}$ MF puis celle de la station 5 avec une valeur de 1.22 $\mu\text{g/g}$ MF) et en fin celles des stations 1 et 3 qui sont de 1,0210 $\mu\text{g/g}$ MF.

Les écarts-types de toutes les stations sont inférieurs aux valeurs des concentrations moyennes ; ce qui veut dire que nos valeurs sont peu dispersées.

Les valeurs des deux stations 03 et 05 (PMSTA3, PMSTA5) ont montré une distribution symétrique par rapport à Q_2 . Par contre, concernant les stations 01, 02 et 04 Les valeurs de Q_1 sont proches de Q_2 . (**Annexe IV**).

D'ailleurs, le test de la normalité de Shapiro (**Annexe V**) a donné des p-values supérieures à 0.05 pour les cinq stations. Elles sont successivement de l'ordre de 0.106, 0.0587, 0.816, 0.055 et 0.637 et Une moyenne maximale de 1.249 $\mu\text{g/g}$ MF, enregistrée au niveau de la station 04.

Puisque le test d'homogénéité de Bartlett a donné une p-value de l'ordre de 0.006 (**Annexe V**) et que le test de la normalité décrit dans le paragraphe précédent a montré que les valeurs de toutes les stations ne suivent pas la loi normale, nous avons donc appliqué le test de Kruskal-Wallis qui a donné un résultat non significatif (p-value=0,2002 et $kh_2= 5.985$, dans le tableau VIII).

Tableau VIII. Résultats de l'ANOVA ou de KRUSKAL-Wallis

Les variables	ANOVA		KRUSKAL-WALLIS	
	F	P-VALUE	KH ₂	P-VALUE
PMs	0.936	0.482	5.985	0.2002
HAPs	0.306	0.867	0.603	2.733
Ch. A	19.27	0.0001***	/	/
Ch. B	11.58	0.0009***	/	/
Ch. Ab	38.12	5.03 ^{e-16} ***	/	/
Proline	6.387	0.008**	/	/

La concentration moyenne maximale des PMs et qui est de 1.249 $\mu\text{g/g}$ MF, affichée en histogramme de la figure 12 est enregistrée au niveau de la station 04. La concentration moyenne minimale de 1.0003 $\mu\text{g/g}$ MF est enregistrée au niveau de la station 01

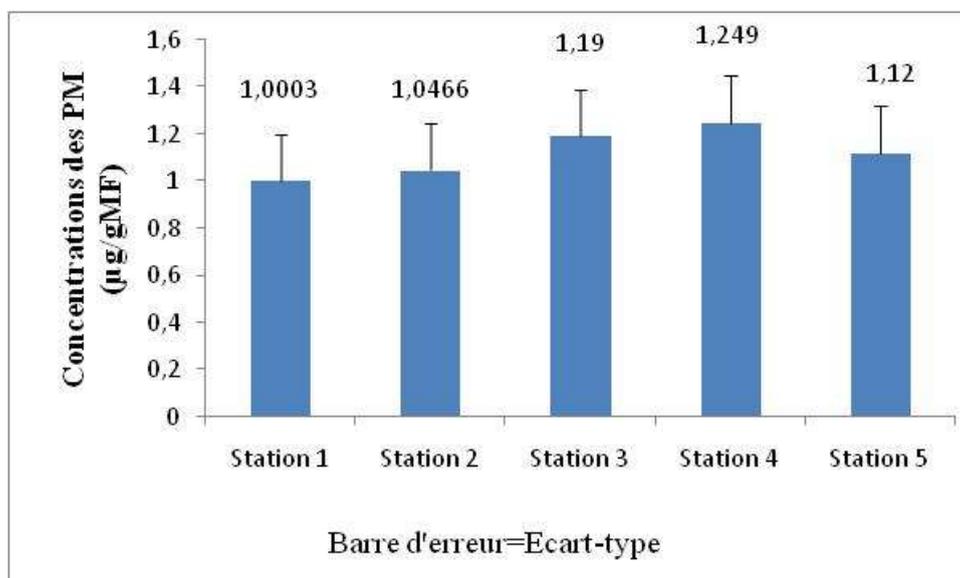


Figure 12 : Variation des concentrations moyenne des PMs ($\mu\text{g/g}$ MF) déposées sur les thalles de *Xanthoria pareitina* selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022).

1.2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques

D'après les statistiques descriptives (Annexe III), les stations affichent des valeurs similaires de concentrations des HAPs pour les stations 02, 03 et 04 et qui sont successivement de l'ordre de 14.80, 14.49 et 14.63 $\mu\text{g/g}$ MF. Ainsi, la concentration maximale calculée pour la station 01 qui est de 13.57 $\mu\text{g/g}$ MF est la plus petite suivie de celles calculées pour les stations 02 et 05 qui sont successivement de l'ordre de 18.05 puis celle de la station 5 avec une valeur de 18.13 $\mu\text{g/g}$ MF et en fin celle des stations 03 et 04 qui

sont de l'ordre de 17.84 et 17.67

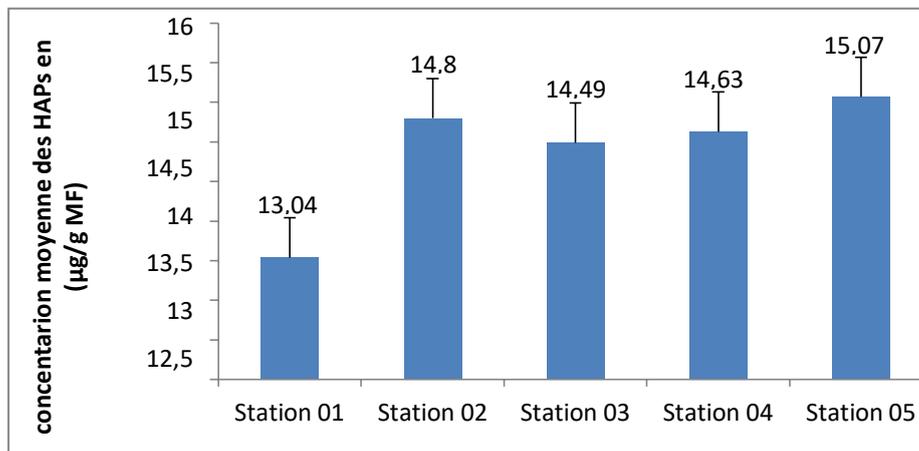
Les concentrations des écarts-types sont inférieures aux concentrations moyennes pour les cinq stations, donc on constate que les valeurs de cette variable (concentration des HAPs) sont peu dispersées.

Les valeurs des trois stations 02, 03 et 05 (HAPS2, HAPS3, HAPS5) ont montré une distribution symétrique par rapport à Q_2 . Par contre, pour les stations 01 et 04 les valeurs de Q_1 sont proches de Q_2 . (Annexe IV).

D'ailleurs, le test de la normalité de Shapiro (Annexe V) a donné des p-values supérieures à 0.05 pour toutes les stations. Elles sont successivement de l'ordre de 0.591, 0.166, 0.213, 0.061 et 0.289 $\mu\text{g/g MF}$ pour (HAPS1, HAPS2, HAPS3, HAPS4, HAPS5).

Les concentrations moyennes des HAPs, présentées en (figure 15) varient entre une moyenne minimale de 13.04 $\mu\text{g/g MF}$, enregistrée au niveau de la station 01 et une moyenne maximale de 15.07 $\mu\text{g/g MF}$, enregistrée au niveau de la station 05.

Vu que le test d'homogénéité de Bartlett a donné une p-value de l'ordre de 0.394 (Annexe V) et que le test de la normalité décrit dans le paragraphe précédent a montré que les valeurs de toutes les stations ne suivent pas la loi normale, donc on a appliqué le test de KRUSKAL- Wallis qui a donné un résultat non significatif (p-value=0.6034 et $kh_2= 2.7333$, dans le tableau).



Barre d'erreur=écart-type

Figure13 : Variation des concentrations moyennes des HAPs, ($\mu\text{g/g MF}$) déposées sur les thalles de *Xanthoria pareitina* selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022).

1. Paramétrés physiologiques

2.1. Chlorophylle (ch. a)

Les résultats descriptifs (**Annexe III**) ont montré que les valeurs des concentrations moyennes pour les stations 01, 03, 04 et qui sont successivement de l'ordre de 0.24, 0.20, 0.21 $\mu\text{g/g}$ MF, sont proche entre elle. Les valeurs de la concentration maximale calculée pour les mêmes stations 01, 03 et 04 sont similaires et qui sont successivement de l'ordre de 0.253, 0.225 et 0.225 et celles des stations 02 et 05 de l'ordre 0.136 et 0.140 $\mu\text{g/g}$ MF sont proche entre elles.

Comme pour les deux paramètres précédents, les valeurs de la variance et des écart-type de la chlorophylle concernant toutes les stations, sont inférieures aux concentrations de leurs moyennes donc on déduit qu'elles sont aussi peu dispersées.

Regardant les boîtes à moustache en annexe IV, nous pouvons observer clairement que les valeurs de Q_1 dans les trois stations 01, 02 et 04 (CHAS1, CHAS2 et CHAS4) sont superposées sur le Q_2 et que les valeurs de Q_3 sont élevées. Cependant la position de Q_1 dans la station 05 (CHAS5) a une distribution symétrique par rapport à Q_2 et enfin la position de Q_1 dans la station 03 (CHAS3) est proche de Q_2 (**Annexe IV**).

Le test de la normalité de Shapiro (**Annexe V**) a donné des valeurs de p-values plus au moins inférieures à 0.05 pour toutes les stations. Elles sont successivement $<2.2 \times 10^{-16}$, $<2.2 \times 10^{-16}$, 0.463, $<2.2 \times 10^{-16}$, et 1 pour (CHAS1, CHAS2, CHAS3, CHAS4, CHAS5). Les concentrations moyennes des (c h. a), présentées en figure 14 varient entre une moyenne minimale de 0.116 $\mu\text{g/g}$ MF, enregistrée au niveau de la station 02 et une moyenne maximale de 0.241 $\mu\text{g/g}$ MF, enregistrée au niveau de la station 01.

Le test d'homogénéité de Bartlett a donné une p-value de l'ordre de 0.973 (**Annexe V**) et que le test de la normalité décrit dans le paragraphe précédent a montré que les valeurs de toutes les stations suivent la loi normale, donc on a appliqué le test d'ANOVA qui a donné un résultat hautement significatif (p-value= 0.0001*** et F= 19.27 dans le tableau **VIII**).

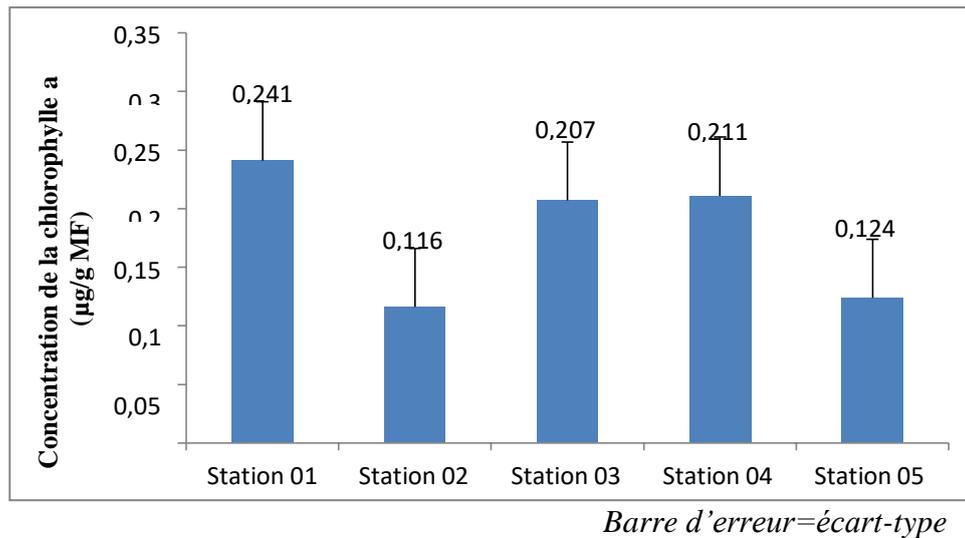


Figure 14 : Variation des concentrations moyenne de la chlorophylle a selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022).

2.2. Chlorophylle (Ch.b)

Dans l'annexe III, nous pouvons observer que la concentration maximale calculée pour la station 01 et qui est de l'ordre de $0.23\mu\text{g/g MF}$ est supérieure aux valeurs des concentrations des stations 04,03et02 qui sont respectivement de l'ordre $0.18,0.14,0.13\mu\text{g/gMF}$. De plus, la plus petite valeur des concentrations maximales est celle enregistrée dans la station 05 ($0.08\mu\text{g/g MF}$). Les valeurs des écarts-types et les variances sont inférieures aux concentrations moyennes dans les cinq stations, donc on constate que les valeurs de cette variable sont peu dispersées.

Selon les boîtes à moustache en annexe IV, les stations 01, 03 et 04 (chlbS1, chlbS3, chlbS4) ont montrées des positions similairesdeQ1 par rapport au Q2. Aussi dans la station 02, la valeur de Q1 est proche de celle de Q2. Par contre la boîte à moustache concernant la station05, a donné une distribution très symétrique ou la longueur entre Q1 etQ2 égale la longueur entre Q2 et Q3.

Le test de la normalité de Shapiro (**Annexe V**) a donné des p-values plus au moins inférieure à 0.05 pour toutes les stations. Elles sont successivement $<2.2 \times 10^{-16}$, 0.463, $<2.2 \times 10^{-16}$, et $<2.2 \times 10^{-16}$ pour(chlbS1, chlbS2,chlbS3, chlbS4,chlbS5).

Les concentrations moyennes des (c h. b), présentées en figure 15 varient entre une moyenne minimale de $0.077\mu\text{g/g MF}$, enregistrée au niveau de la station05 et une moyenne maximale de $0.197\mu\text{g/g MF}$ enregistrée au niveau de la station 01.

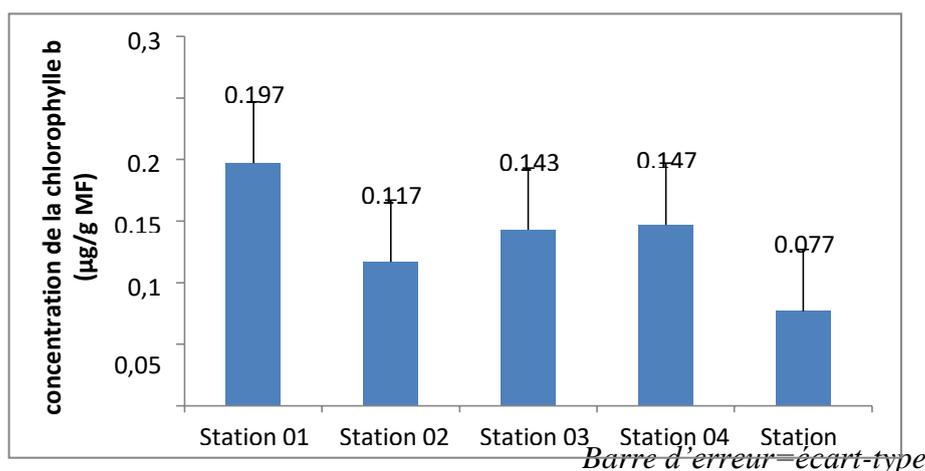


Figure 15 : Variation des concentrations moyenne de la chlorophylle (c h. b) selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022)

Le test d'homogénéité de Bartlett a donné une p-value de l'ordre de 0.2441 (**Annexe V**) et le test de la normalité décrit en haut a montré que les valeurs de toutes les stations suivent la loi normale, donc on a réalisé le test d'ANOVA qui a donné un effet très hautement significatif (p-value= 0.0009***et F=11.58 dans le tableau VII).

2.1.1. Chlorophylle (c h .a b)

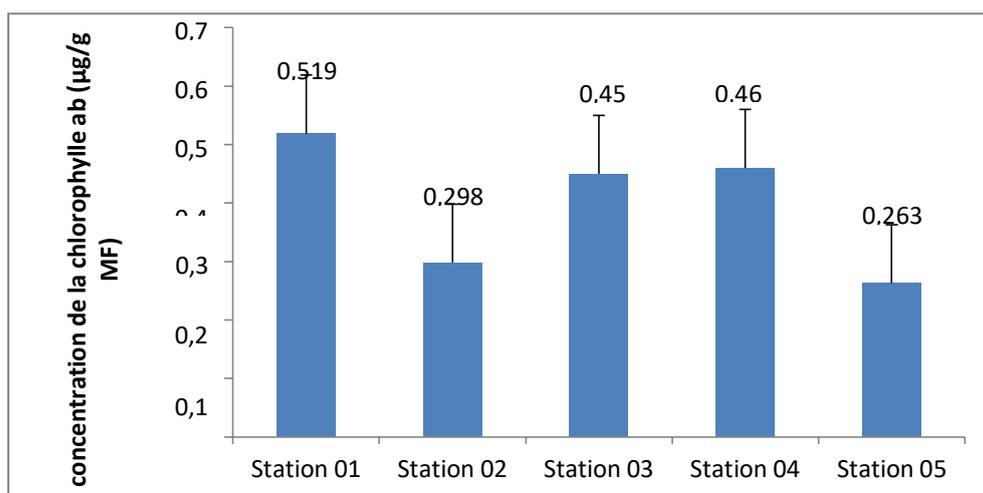
La concentration maximale de la chlorophylle ab, la plus élevée est celle enregistrée dans la station 01 et qui est de l'ordre de ($0.55 \mu\text{g/g MF}$), suivie par des concentrations proches entre les stations 02 et 05 (0.31 et $0.28 \mu\text{g/g MF}$) et d'autre aussi proches entre elles concernant les stations 03 et 04 (0.46 et $0.47 \mu\text{g/g MF}$.)

L'écart-type de la station 01 de l'ordre ($0.049 \mu\text{g/g MF}$) est deux fois plus élevé que les écarts-types des stations 03, 04 et 05 (0.20 , 0.20 et $0.026 \mu\text{g/g MF}$) et trois fois plus élevé que celui de la station 02 et qui est de l'ordre de ($0.015 \mu\text{g/g MF}$).

Les valeurs des écarts-types et les variances pour toutes les stations sont inférieures aux concentrations moyennes de ces dernières. Nous pouvons déduire donc que les valeurs de cette variable (chlorophylle ab), sont peu dispersées (**Annexe III**).

Les premiers quartiles sont proches des deuxièmes quartiles concernant les stations 01, 04 et 05. Par contre les stations 02 et 03 ont montré des distributions très symétriques (**Annexe IV**).

Les concentrations moyennes de la chlorophylle ab, présentées en figure 16, varient entre une moyenne minimale de $0.263 \mu\text{g/g MF}$, enregistrée au niveau de la station 05 et une moyenne maximale de $0.519 \mu\text{g/g MF}$ enregistrée au niveau de la station 01.



Barre d'erreur=écart-type

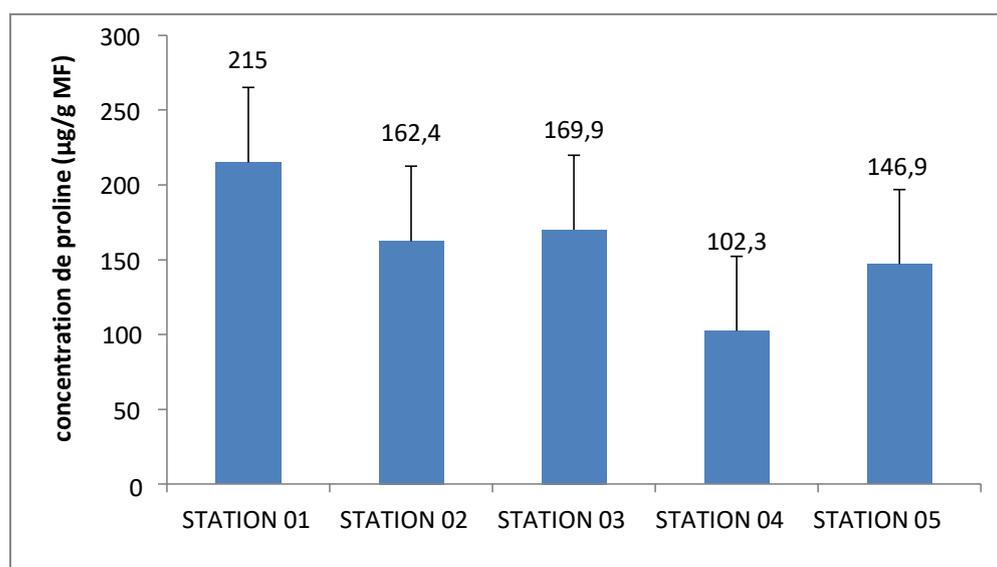
Figure 16. Variation des concentrations moyenne de la chlorophylle ab selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022).

Le test d'homogénéité de Bartlett a donné une p-value de l'ordre de 0.6418 (**Annexe V**) et le test de la normalité décrit pour la chlorophylle (c h. a) et chlorophylle (c h. b) a montré que les valeurs de toutes les stations suivent la loi normale, donc on a appliqué le test d'ANOVA qui permet de mettre en évidence un résultat très hautement significatif ($p\text{-value}=5.03 \times 10^{-16}$ ***et $F=38.12$, le tableau.....). Pour compléter les résultats de l'ANOVA, nous avons poussé notre analyse avec le test du Tukey qui a affiché une différence hautement significatif ($p<0.001$) ***entre les différentes stations étudiées

2.2. Proline

. La station 01 a donné la concentration maximale de $242.4 \mu\text{g/g MF}$ et qui est la plus élevée entre toutes les stations étudiées .Les stations restantes 02, 03, 04 et 05 ont donné des valeurs peu différentes les unes des autres et qui sont successivement de l'ordre de (182.7, 193.8, 115.4, $164.6 \mu\text{g/g MF}$).

Les concentrations des écarts-types et les variances pour les 05 ont montré que les valeurs de cette variable sont peu dispersées (**Annexe III**).



Barre d'erreur=écart-type

Figure 17 : Variation des concentrations moyenne de la proline selon les stations d'échantillonnage à Akbou (Mai 2022).

Dans l'**annexe IV**, nous pouvons lire que les longueurs de Q1et de Q3, concernant la boîte à moustaches de la station 01(proS1),sont symétriques par rapport auQ2. Pour lesstations02, 03 ,04 et05ontmontréquelesvaleurs de Q1 sont proches de celles de Q2 et les moustaches de Q3 sont les plus longs.

La concentration moyenne maximale, selon l'histogramme affiché ci-dessous, est celle de lastation01avecune valeur de 215µg/g MF. Toujours selon le même histogramme, la concentration moyenne minimale de 102.3µg/g MF est calculée dans le cas de la station 04.

Le test d'homogénéité de Bartlett a donné une p-value de l'ordre de 0.0.7236 (**Annexe V**) donc on a appliqué le test d'ANOVA qui a donné un résultat hautement significatif (p value=0.008 et F=6.387 dans le tableau **IIIV**).

2.1. Analyse en composantes principales

L'analyse des composantes principales a été effectuée sur les 5 stations d'étude pour tous les éléments étudiés. Cela pour mettre en évidence les relations existantes entre les variables (Ch. a, Ch. b, Ch. ab, Proline, HAP, PM).

3.1. Cercle de corrélation

D'abord nous commençons par expliquer le cercle de corrélation en figure 18.

Les deux axes de cette analyse permettent d'expliquer 69.82 % de l'information. Le premier axe contribuant avec 48.39 % et le deuxième avec 21.45%.

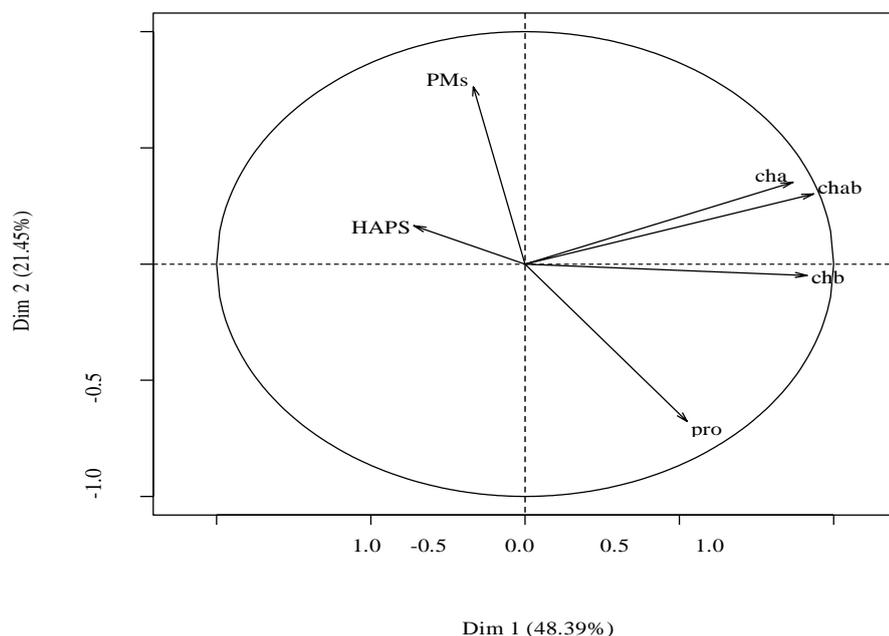


Figure 18 : Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de Proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur *Xanthoria pareitina* prélevés à Akbou.

La première composante principale (CP1) qui contient (48,39%) est corrélée avec une (p-value <0.000)*** entre les paramètres physiologiques de la chlorophylle.

La deuxième composante principale (CP2) qui contient (21.45%) est corrélée avec une (p-value <0.00)** entre les paramètres de pollution des PM.

Après avoir expliqué les corrélations entre les composantes des axes et les paramètres physiologiques de la chlorophylle et les PM, nous venons pour expliquer les variables de la matrice de corrélation dans le tableau IX.

Les paramètres physiologiques de la chlorophylle présentent de fortes corrélations positives très hautement significatives entre eux.

Tableau IX. Matrice de corrélation entre les différents paramètres

	HAP	PM	Pro	Chl a	Chlb	Chab
HAP	1.000	-0.11	-0.29	-0.08	-0.33	-0.18
PM		1.000	-0.35	-0.02	-0.16	-0.001
Pro			1.000	0.18	0.46	0.26
Chla				1.000	0.68	0.96
Chlb					1.000	0.80
Chlab						1.000

Les deux chlorophylles (a et b) montrent une corrélation présentée par un coefficient de corrélation de l'ordre de ($r=-0.68$, $p<0.000$). Aussi une autre corrélation est montrée entre la chlorophylle ab et la chlorophylle b avec un coefficient de corrélation de ($r=0.80$, $p<0.000$).

Les trois chlorophylles (chlab, chla et chl b), ont montré des très faibles corrélations négatives non significatives avec les paramètres de pollution (PM et HAP) et les coefficients de corrélations sont successivement de l'ordre de ($r=-0.08$, -0.33 et -0.18 pour les HAPs et de l'ordre de $r=-0.002$, -0.16 et -0.001 pour les PMs.

La proline montre de très faibles corrélations positives avec les trois chlorophylles a, b et ab de l'ordre de ($r=0.18$, 0.46 et 0.26).

Le même cercle de corrélation a donné de très faibles corrélations négatives avec les paramètres de pollution (HAPs et PMs) de l'ordre de ($r=-0.29$ et -0.35).

3.2. Distribution des individus de corrélation

Les individus sur le cercle représentent les prélèvements. La figure 18 ., montre que le prélèvement 1 et le prélèvement 2 sont proches. Donc ils partagent les mêmes informations par rapport aux différents paramètres étudiés.

Aussi les prélèvements 3, 7 et 8 figurent dans le même carré. Donc ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec les autres. De leur côté, les prélèvements 14, 4, 5, 6, et le site 13 sont proches et figurent dans le même carré. Donc ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec les autres

Du Même, les prélèvements 10 et 11 partagent plus d'informations entre eux qu'avec la suite des prélèvements, ce qui est indiqué par leur proximité sur le même graphe.

En dernier, les prélèvements 9, 12 et le site 15 figurent dans le même carré. Donc ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec les autres (**Annexe VI**).

4. Discussion

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir de l'étude de bioaccumulation de la pollution atmosphérique des HAPs et les PMs par les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région industrielle de Taharacht-Akbou, Nous avons démontré que la valeur la plus élevée des HAPs de ($15.07\mu\text{g/g}$) est enregistré au niveau de la station 05 (Amalou), qui est une zone de prélèvement caractérisée par sa proximité d'une décharge. Du même, nous avons enregistré des teneurs importantes, toutes supérieures à $13.04\mu\text{g/g}$ d'HAPs dans le reste des stations (1,

2, 3 et 04) qui sont des stations plus au moins industrielles.

Les teneurs des HAPs accumulées par *Xanthoria Parietina* sont globalement compris entre (13.04 et 15.07 µg/g). Nos résultats rejoignent ceux de **DRON et al. 2016** et **Augusto et al, (2010)** qui ont trouvé des teneurs respectivement de l'ordre de (108 et 374 µg/g) au niveau des périphéries de la zone industrielle portuaire de Fos-sur-Mer (France)

Selon **DRON et al, 2016** et **Augusto et al, (2010)** d'autres études ailleurs Donc L'industrie a une influence sur l'augmentation des HAPs accumulée par les lichens (**Ratier, 2015, Dron et al, 2016, Ratier et al, 2018**).

Les quantités des PMs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station 04 (Helouane) en raison de sa proximité à l'unité industrielle de fabrication des tuyaux.

Les valeurs des PMs plus au moins importantes sont observées à la station 05 (Amalou) de fait de sa proximité de la zone urbaine. Les résultats montrent que le lichen *Xanthoria parietina* est influencé par l'environnement du site (industriel au urbain). Les conditions défavorables de l'environnement causent des perturbations et des altérations de l'état physiologique des lichens. Pour cela on a étudiés les paramètres physiologiques (chlorophylle a, b, ab) et la proline.

Les taux de la chlorophylle (Ch. ab) varie entre (0.263 et 0.51 µg/g) donc la chlorophylle est dégradée à cause des facteurs environnementaux. Les taux de la proline enregistrés chez *Xanthoria Parietina* sont compris entre (102 et 215 µg/g) Ces résultats rejoignent les valeurs indiquées par **Maizi et al, (2012)** qui ont trouvé des teneurs respectivement de l'ordre (184 et 597 µg/g). Ces valeurs ont une tendance à diminuer dans les cinq stations de la zone d'étude avec l'augmentation des polluants (HAPs et PMs). La teneur en proline pour l'espèce (*Xanthoria Parietina*) a marqué une accumulation très élevée au niveau des cinq stations d'études en raison des dommages et de stress provoqués par les polluants (HAPs et PMs).

Conclusion générale

Conclusion

Le travail du présent mémoire a pour objectif de caractériser la pollution atmosphérique par les HAPs. Cette dernière constitue aujourd'hui un problème environnemental très complexe à l'échelle locale et planétaire. En effet, la quantification de la pollution atmosphérique par les HAPs est possible en utilisant des espèces lichéniques (*Xanthoria parietina*) ou les polluants atmosphériques émis de diverses sources (trafic routier, industries, etc...) végétal dans notre cas le lichen (*Xanthoria parietina*).

Dans ce contexte, notre étude a été menée dans 05 stations dans la région industrielle de Tharacht Akbou, les résultats obtenus des travaux réalisés concernant la bioaccumulation des HAPs atmosphériques et les poussières, ont montré des concentrations importantes des HAPs et des PMs accumulés par l'espèce *Xanthoria parietina*.

La détérioration du milieu naturel touche en premier lieu les caractères physiologiques du végétal. Pour cette raison nous avons quantifié les paramètres physiologiques dont la chlorophylle (Chlorophylle (a), Chlorophylle (b), Chlorophylle (ab), et la Proline).

Les analyses faites au laboratoire nous ont permis d'enregistrer les variations de chaque paramètre.

Ainsi, les teneurs en chlorophylle chez (*Xanthoria parietina*) diminuent dans les sites fortement pollués à cause de la perturbation du processus photosynthétique. Alors que la teneur en proline augmente dans les mêmes sites pollués à cause de l'équilibre métabolique perturbé de celle-ci par les conditions défavorables du milieu.

Cependant, la variation des teneurs reste fonction de la nature des espèces, de la distance par rapport à la source de la pollution et enfin de la variation de certains facteurs climatiques : le vent, la température, la pluviométrie, l'humidité. (**Bensoltane et al., 2005**).

Suite aux résultats obtenus dans la présente étude et compte tenu des antécédents, *Xanthoria parietina* pourrait être une espèce modèle pour l'étude de la bioaccumulation des polluants organiques (HAPs) et les poussières PMs.

Au cours des travaux réalisés pour l'obtention de ces résultats. Plusieurs obstacles ont été rencontrés surtout concernant le manque de matériel qui nous a empêchés de travailler dans des bonnes conditions. Le temps court, qui a été accordé, et aussi un autre obstacle qui nous a empêché d'atteindre parfaitement les objectifs tracés.

L'utilisation des végétaux et plus particulièrement les lichens dans l'évaluation de la pollution atmosphérique dans des zones industrielles est intéressante et très importante. Pour cette raison, On a un ensemble de perspectives qui complètent ce travail dans les prochaines recherches :

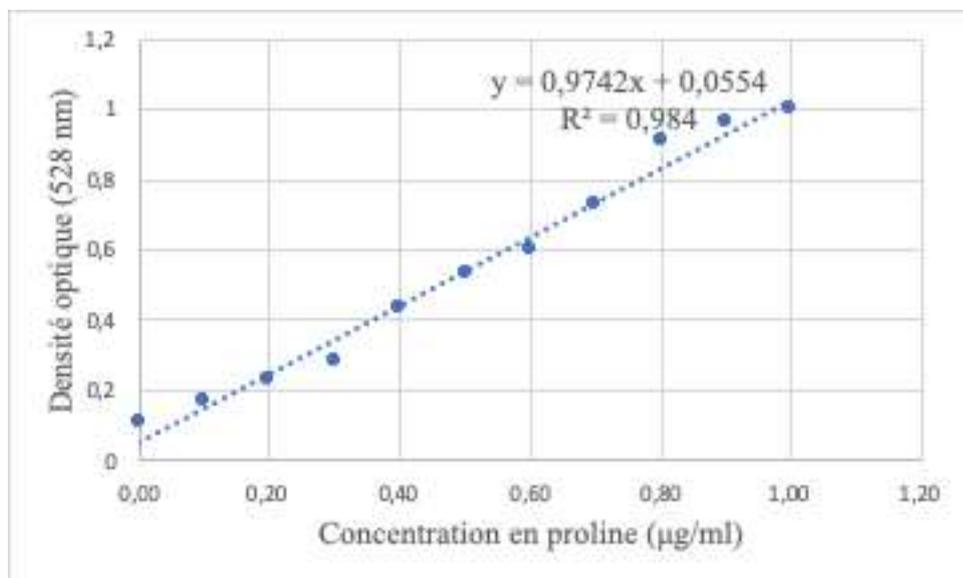
Conclusion générale

- Elargir l'espace d'étude toute en impliquant d'autres régions pourquoi pas d'autres Wilaya .
- Il sera intéressant de prendre des zones de références à un pourcentage très élevé pour que la comparaison des résultats puisse nous donner plus d'information.

Annexes

Annexes

Annexe I : courbe d'étalonnage de la proline



Annexe II : les valeurs de la rose des vents d'Akbou

Timestamp	Akbou 0 to 5 km/h	Akbou 5 to 10 km/h	Akbou 10 to 15 km/h	Akbou 15 to 20 km/h	Akbou 20 to 25 km/h	Akbou 25 to 30 km/h	Akbou 30 to 35 km/h	Akbou 35 to 40 km/h
N	2	2	0	1	0	0	0	0
NNE	3	3	3	2	2	0	0	0
NE	9	14	11	18	6	14	7	4
ENE	6	6	3	0	0	0	0	0
E	3	1	0	0	0	0	0	0
ESE	3	0	0	0	0	0	0	0
SE	5	0	0	0	0	0	0	0
SSE	1	0	0	0	0	0	0	0
S	9	0	0	0	0	0	0	0
SSW	4	5	0	0	2	2	0	0
SW	3	3	2	4	5	0	0	0
WSW	1	4	4	1	0	0	0	0
W	2	5	0	0	0	0	0	0
WNW	2	2	0	0	0	0	0	0
NW	2	0	0	0	0	0	0	0
NNW	1	0	0	0	0	0	0	0

Annexes

Annexe III. Les statistiques descriptives des paramètres physiologiques et des paramètres de pollution.

HAPs	Station 01	Station 02	Station 03	Station 04	Station 05
Moyenne	13,047	14,807	14,497	14,633	15,077
Erreur-type	0,275	1,628	1,682	1,519	1,544
Médiane	12,990	13,430	13,150	13,200	13,950
Écart-type	0,476	2,819	2,914	2,631	2,674
Variance	0,226	7,949	8,489	6,923	7,152
Minimum	12,640	12,940	12,500	13,030	13,150
Maximum	13,570	18,050	17,840	17,670	18,130

chlorophylle (Ch.b)	Station01	Station02	Station03	Station04	Station05
Moyenne	0,197	0,117	0,134	0,147	0,077
Erreur-type	0,016	0,012	0,007	0,020	0,0026
Médiane	0,183	0,123	0,129	0,129	0,078
Écart-type	0,028	0,021	0,012	0,0349	0,004
Variance	0,0007	0,0004	0,00015	0,0012	2,0333E-05
Minimum	0,18	0,094	0,126	0,126	0,073
Maximum	0,23	0,135	0,149	0,188	0,082

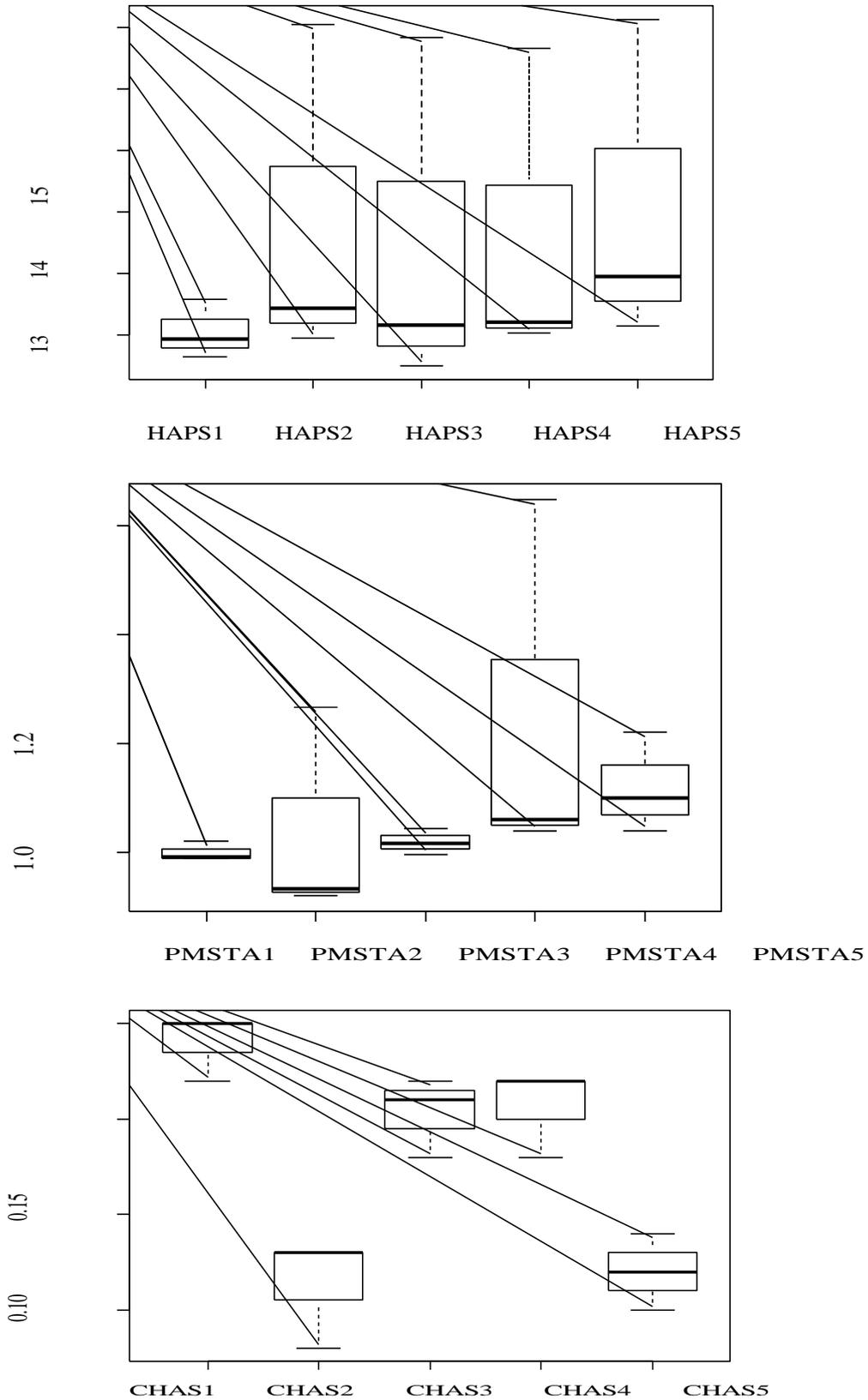
PMs	Station01	Station02	Station03	Station04	Station05
Moyenne	1,0003	1,0406	1,0196	1,249	1,12
Erreur-type	0,01035	0,1127	0,0139	0,1990	0,0529
Médiane	0,991	0,934	1,017	1,06	1,1
Écart-type	0,017	0,195	0,024	0,344	0,0916
Variance	0,0003	0,0381	0,0005	0,1189	0,0084
Minimum	0,989	0,922	0,997	1,04	1,04
Maximum	1,021	1,266	1,045	1,647	1,22

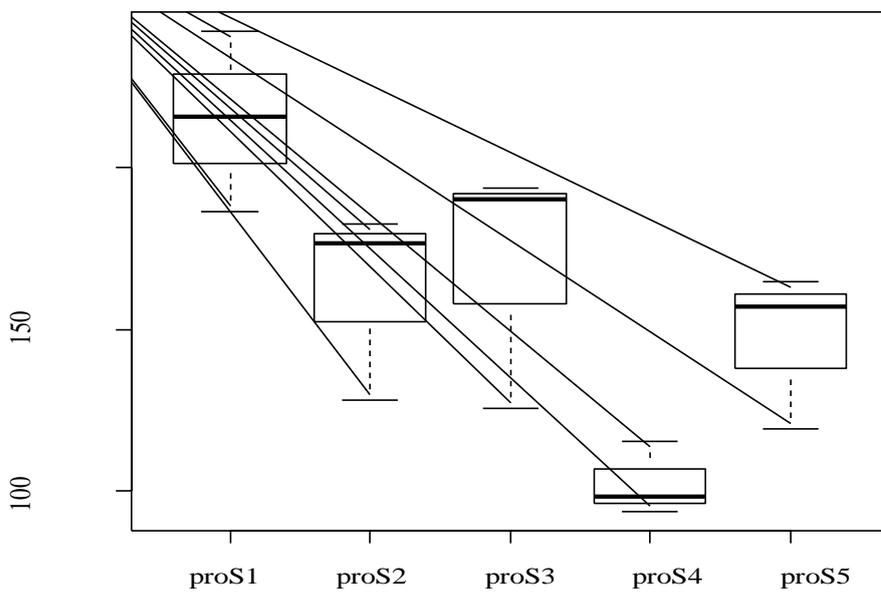
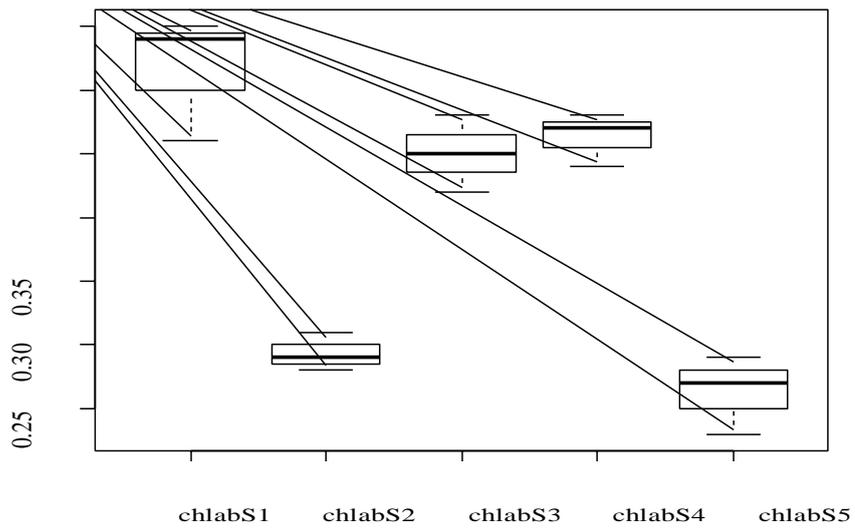
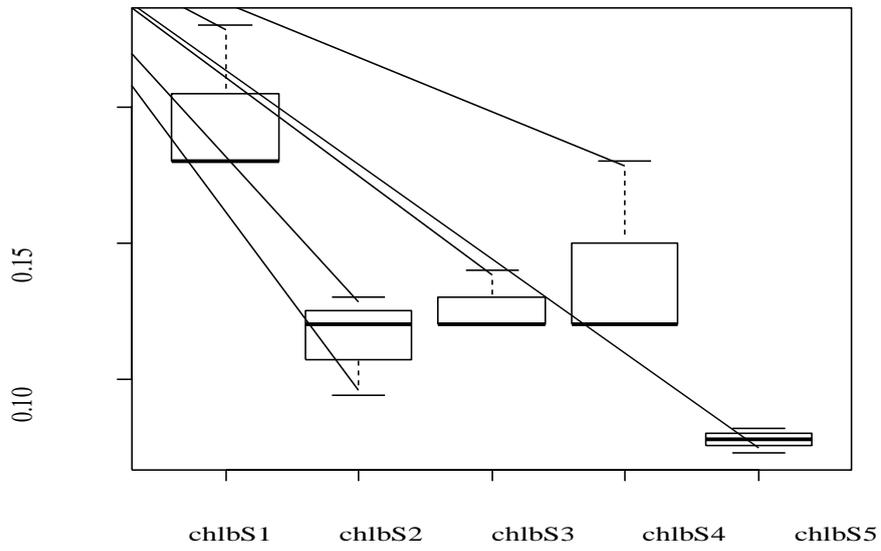
chlorophylle a	Station01	Station02	Station03	Station04	Station05
Moyenne	0,2410	0,1167	0,2073	0,2113	0,1243
Erreur-type	0,0105	0,0169	0,0118	0,0122	0,0092
Médiane	0,2500	0,1310	0,2120	0,2220	0,1250
Écart-type	0,0182	0,0293	0,0204	0,0211	0,0160
Variance	0,0003	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003
Minimum	0,2200	0,0830	0,1850	0,1870	0,1080
Maximum	0,2530	0,1360	0,2250	0,2250	0,1400

chlorophylle ab	Station01	Station02	Station03	Station04	Station05
Moyenne	0,516	0,293	0,443	0,453	0,26
Erreur-type	0,028	0,008	0,012	0,012	0,015
Médiane	0,54	0,29	0,45	0,46	0,27
Écart-type	0,049	0,015	0,020	0,020	0,026
Variance	0,002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0007
Minimum	0,46	0,28	0,42	0,43	0,23
Maximum	0,55	0,31	0,46	0,47	0,28

proline	Station 01	Station 02	Station 03	Station 04	Station 05
Moyenne	215,0	162,4	169,9	102,3	146,9
Erreur-type	16,1	17,4	22,2	6,7	14,1
Médiane	216,1	176,8	190,4	98,0	156,9
Écart-type	28,0	30,1	38,4	11,5	24,3
Variance	781,2	907,0	1476,1	133,1	592,7
Minimum	186,5	127,8	125,6	93,6	119,1
Maximum	242,4	182,7	193,8	115,4	164,6

Annexe IV. Les boîtes à moustaches des paramètres physiologique et de pollution





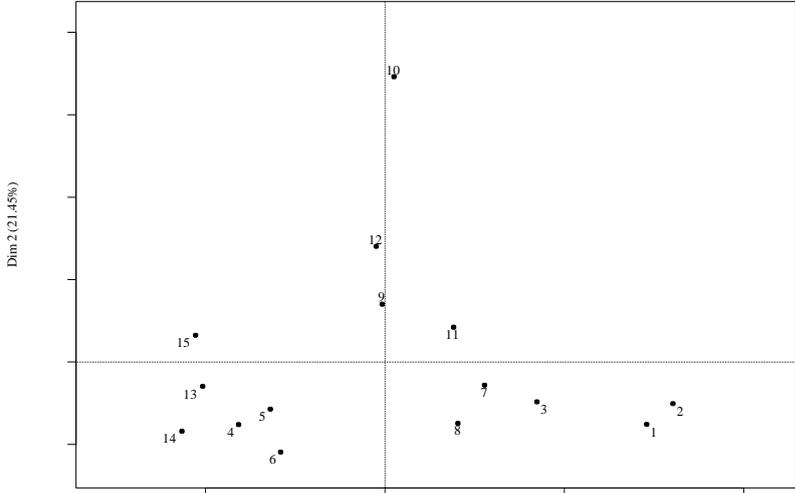
Annexes

Annexe V: les valeurs de la normalité et de l'homogénéité

la normalité (Shapiro) /l'homogénéité (Bartlett)	PMs		HAPs		Ch.a		Ch.b		Ch.ab		Proline	
	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P
station 01	0.79 6	0.1 06	0.95 4	0.5 94	0.75	<2 .2 ^e _16	0.7 5	<2.2 e_-16	0.8 32	0.1 93	0.9 98	0.9 36
station 02	0.77 6	0.0 58	0.82 1	0.1 66	0.75	<2 .2 ^e _16	0.9 23	0.46 3	0.9 64	0.6 36	0.8 30	0.1 89
station03	0.99 0	0.8 16	0.83 9	0.2 13	0.923	0. 46 3	1	1	1	1	0.7 87	0.0 50
Station04	0.77 4	0.0 55	0.77 7	0.0 61	0.75	2. 2 ^e - 16	0.7 5	<2.2 e_-16	0.9 23	0.4 63	0.8 94	0.3 67
station05	0.96 4	0.6 3	0.86 8	0.2 8	1	1	0.7 5	<2.2 e_-16	0.9 64	0.6 36	0.8 7	0.3 0
Homogénéité (test Bartlett)	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P
	14.4 22	0.0 06	4.08 71	0.3 94	0.5 02	0.97 3	5.4 50	0.24 4	2.5 15	0.6 41	2.0 66	0.7 23

Annexes

Annexe VI. Distribution des individus de corrélation entre des variables des paramètres physiologiques et de pollution



Références
Bibliographies

Références bibliographiques

Ait Hammou M., Sarmoum M., Maatoug M. (2011). Intérêt de la bio surveillance végétale de la pollution atmosphérique pour les pays en émergence. Exemple de l' Algérie. Pollution atmosphérique, numéro spécial : 71-76

Ait Hammou M. (2015). Analyses taxinomique et écologique des lichens de la région de Tiaret. Thèse de doctorat. Université d'Oran, 326p

ALZIEU, C ; et al. (2003). Bio évaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion . Ed : IFREMER. Plouzané, 2003,263

Benard A., Durif M ., Lavrillou P., Vandamme L. (2004). Utilisation d'une technique De bienveillance pour évaluer des retombées de métaux lourds, cas d'un site de seconde, fusion du plomb. Rapport final, INERIS-DRC-04-55891, AIRE-N°0565-MDu/LVa : 7-66.

Bauwens A. (2003) les lichens et la qualité de l'air, projet interreg III-RICSTI.University catholique de lauvain. p.09

Bensoltane S., Khaldi F., Djebar H., Djebar M.R. (2005) .Toxicity of the ammonium nitrate NH_4NO_3 on the respiratory metabolism of three biological models: parameciums, mosses and lichens. Comm.Appl.Biol.Sci,Ghent University,70/4 :1043-1051.

Belhadj H., Hellal B., Ayad N., Ayache A. (2015). Quantification de l'émission de Plomb dans le milieu urbain de Sidi Bel Abbés (Algérie Occidentale). European Scientific Journal. vol.11, N°6. 13 p.

Bourdial M., (2000). La flore et la faune, Masson, Paris. p16.

Catinon M. (2010). Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. Thèse, l'université de Grenoble 1, École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement, Laboratoire d'écologie Alpine-UMR 5553, 207p.

Cazaunau, M. (2009) oxydation atmosphérique hétérogène de HAP et de PBDE : cinétique produits et géno toxicité. Thèse de doctorat : chimie analytique et environnement Bordeaux Université Bordeaux 1,2009, 252 p.

Casale R. (2006). Bio surveillance de la qualité de l'air dans la région d'Ajaccio : mise En œuvre de quelques protocoles et d'opérations de communication. Mémoire destage, génie biologie, option génie de l'environnement, Université de corse pascal Paol, 39p.42

Références bibliographiques

- Cuny D., Rzepka M.A., Van Haluwyn C.(2008).** Introduction à la bio surveillance Végétale et fongique de la qualité de l'air, concept et intérêt. spectra analyse, N° 264 : 31-35
- Cuny D. (2012).** Environmental pollution. Elsevier, volume 160, jenuary 2012, page130-138
- CITEPA. (2001).** Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). La pollution atmosphérique en bref. Différentes échelles de pollution..
- Farou J-L., Guerin J-F. (2015).** Les lichens : indicateurs environnementaux. Plante & cité, ingénierie de la nature en ville, DAMAS olivier, CHANSSAING Batiste, 9p.
- 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 : Sciences des Agroressources. Toulouse : Université de Toulouse, 2012, 337p.
- Fadel D., Djamaï R., Laïfa A. & Boughambouz I., (2010).** Inventory of the lichen flora of the national park of El Kala in northeastern Algeria. Revue Synthèse, 22.
- Garrec J-P& Van Haluwyn C. (2002).** Bio surveillance végétale de la qualité de l'aire Tech&Doc., Lavoisier .118p.
- Garrec J. P. (2007).** L'expertise technique et scientifique de référence. Laboratoire Pollution atmosphérique INRA – Centre de recherche de Nancy, 25-33p.
- Garrett R. (1998).** « Anaerobic Biodegradation of Long-Chain n-Alkanes under Sulfate-Reducing Conditions ». Environmental Science & Technology, vol. 32, no 14, p. 2191-2195.
- Goujon M. (2004).** Lichens et biosurveillance de la qualité de l'air. Publication de l'Agence régionale de l'environnement de Haute-Normandie : connaitre pour agir.4p.
- Gonjion M., (2004).** Publication de l'agence régionale de l'environnement; Rouen. p 4.
- Gregory G., Mary B. (2004).** Les lichens et la qualité de l'air .*Fascicule enseignants.* Projet Interreg III – RICSTI, UCL Université catholique de louvain, Interreg III – RICSTI, Faculté des sciences, 2-32p
- Hoenner Valentine. (2006)** évaluation de la pollution par les HAP et les métaux lords en alsace, Septembre 2006, ASPA06091401-ID. Université de ULP P 37.
- Hawksworth D.L .F Rose. (1970)** Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. P 145-1148

Références bibliographiques

Leblond S. (2004). Etude pluridisciplinaire du transfert des métaux de l'atmosphère vers les mousses (*Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr.) : Suivi sur un site rural (Vouzon, France). Thèse de doctorat en Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement, Université Paris.

Loppi S., Putortì E., Signorini C., Fommei S., Pirintsos S. A., De Dominicis V. (1998) Aretrospective study using epiphytic lichens as biomonitors of air quality: 1980 and 1996(Tuscany,centralItaly).ActaOecologica19:405-

Maatoug M., Hellal B., Dellal A., AyadN., Bourbatach M. (2007).Detection of air pollutants from road traffic by using the bioaccumulative effect of flora species regarding some heavy metals (Pb, Zn, Cu). Ed: pollution atmosphérique n°196, 393p.

Maizi N. (2012). Caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bios indicateurs végétaux : *un lichen (ramalina farinacea), une mousse (funaria hygrométrica) et quelques espèces phanerogamiques dans la région d'Annaba (Algérie)*. Thèse de doctorat, biologie végétale, faculté des sciences, département de biologie, université badjimokhtar –Annaba, 165p.

Markert B., Breure M ; Zeichmeister H. (2003). Bioindicators & biomonitors: principes,concepts, and applications. Elsevier. Amsterdam, 997p.

Merlen R. (2015). La bio surveillance : outil de surveillance de l'impact sur l'environnement des émissions atmosphériques industrielles et d'évaluation des risques sanitaires. Pollution atmosphérique, N°226 : 1- 12.

Masson J-C. (2014). Les lichens, bio-indicateurs de la qualité de l'air. 11P.

Maxwell K., Johnson G.N.(2000) -Chlorophyll fluorescence - a practical guide. Journal of Experimental Botany, 51: 659-668

Mazoue S., Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). (1994). Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport Setra - Cstr N° B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement, 67 p.

Melquit, P. (2003). In : 1001 Mots et abréviation de l'environnement et du développement durable. 1^{ère} ed.Lyon: Recyconsult, 2003,192p.

Références bibliographiques

- Norini MP. (2007)** Eco dynamique des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et des communautés microbiennes dans des sols à pollution mixte (HAP, métaux) avant et après traitement par biopile et par désorption thermique : influence de la rhizosphère et de la mycorhization. *Biologie végétale*. Université d'Henri Poincaré P 18-23.
- OCDE. (1995).** La pollution des véhicules à moteur - Stratégies de réduction, Les Editions de l'OCDE, Paris, 148 pages
- Ophoff H., Storktork A., Veerkamp W. and Fuhr F., (1996).** Volatilization and mineralization of [3-14C] fluoranthene after soil incorporation and soil surface application. *Internal Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 64, 97-109.
- Ourari. (2010)** la synthèse et la caractérisation de nouveaux complexes de métaux de transition (cuivre, cobalt et manganèse) bases de Schiff,
- Ozenda P., (2000).** Les végétaux : organisation et diversité biologique, Dunod, Paris, 2eme édition, pp 191-192, ISBN 2-7298-9.
- Paris A. (2018).** Extractions et analyses des hydrocarbures aromatiques : approches méthodologiques et applications à des matrices fruitières. *Sciences agricoles*. Normandie Université, p. 43-69.
- Parmentier C., Garrec J. (1994).** Impact de la pollution atmosphérique le long des routes et autoroutes sur la végétation environnante, Utilisation de la Bioindication végétale, Synthèse bibliographique, INRA Centre de Recherches Forestières de Nancy, Laboratoire d'Etude de la Pollution Atmosphérique, 84 p.
- Prince R. (2003)** « The Roles of Photooxidation and Biodegradation in Long-term Weathering of Crude and Heavy Fuel Oils ». *Spill Science & Technology Bulletin*, vol. 8, no 2, p. 145-156.
- Rahali M., (2002).** Cartographie de la pollution de la région d'Alger en utilisant un lichen *Xanthoria parietina* comme bio accumulateur. *Pollution Atmosphérique*, 175 : 421-432
- Raven E; Lad L; Sharp K; Mewies M; Moody P, (2003).** Defining substrate specificity and catalytic mechanism in ascorbate peroxidase. *Biochem Soc Symp*(71), pp 27-38.
- Roux, A., Cappello, G., Cartaud, J., Prost, J., Goud, B. & Bassereau, P. (2002)** A minimal system allowing tubulation with molecular motors pulling on giant liposomes. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*.

Références bibliographiques

Roux, C. Coste, O. Bricaud, D. Masson. (2006) Catalogue des lichens et des champignons lichénicoles de la région Languedoc - Roussillon (France méridionale). Bull. Soc. Linn. Provence, 57,2006, p.85-200. planétaire.Compréhension – implications.

Ramade F. (2010) Introduction à l'éco-toxicologie. Fondements et applications. Ed. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 618 p.

Maatoug M, Ait hammou.M, Sarmoum. M. (2011). Interest of vegetal biomonitoring for air quality in emerging countries: Algeria example. University Ibn khaldoun, Tiaret Algeria page 72

Serussiaux E ; Diederich P ; Lambinon J., (2004). Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg du nord de la France .Ferrantia 40, 192 p.

Tremoulet M. (2015). Introduction: la pollution de l'air. MEDDE : Ministère del'écologie, du développement durable et de l'énergie, 19p.

Wilcke W., (2000). Persistent organic pollutants in native grassland soils along a climosequence in North America. Soil Sci Soc Am J 64:2140–2148.

Résumé

Résumé

L'objectif de notre étude est de montrer l'importance de l'utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique par les HAPs. à l'aide d'un bio accumulateur végétal qui est le lichen (*Xanthoria parietina*).

Cinq stations ont été choisies pour effectuer 15 prélèvements dans la zone industrielle de Taharracht dans la région d'Akbou (Béjaia), pour prélever des échantillons de lichen *Xanthoria parietina* sur lesquels ont été dosées les quantités des paramètres physiologiques de la chlorophylle et de la proline et mesuré les concentrations polluants atmosphériques de HAPs et des PMs..

Les résultats des statistiques descriptives ont montré des variations entre les différentes stations et le test de l'ANOVA a donné des différences significatives pour les concentrations moyennes de la chlorophylle ab entre les stations.

Le test de l'ACP a mis en évidence des corrélations positives entre HAPs et des PMs accumulée et des corrélations moins ou non significatives entre les paramètres physiologiques (Ch. a, Ch. b, Ch. ab et la proline).et les paramètres polluants (HAPs et PMs)

Mots-clés : Bioaccumulation, zone industrielle, pollution atmosphérique, *Xanthoria parietina*, hydrocarbure aromatique polycyclique.

Abstract

The objective of our study is to show the importance of the use of plants for the evaluation of atmospheric pollution by PAHs. using a plant bioaccumulator which is lichen (*Xanthoria parietina*). Five stations were chosen to take 15 samples in the industrial zone of Taharracht in the Akbou region (Béjaia), to take samples of the lichen *Xanthoria parietina* on which the quantities of the physiological parameters of chlorophyll and proline were assayed. and measured the atmospheric pollutant concentrations of PAHs and PMs. The results of the descriptive statistics showed variations between the different stations and the ANOVA test gave significant differences for the average concentrations of chlorophyll ab between the stations. The PCR test showed positive correlations between PAHs and accumulated PMs and less or non-significant correlations between physiological parameters (Ch. a, Ch. b, Ch. ab and proline). pollutants (PAHs and PMs)

Keywords: Bioaccumulation, industrial zone, air pollution, *Xanthoria parietina*, polycyclic aromatic hydrocarbon.

المخلص

الهدف من دراستنا هو إظهار أهمية استخدام النباتات في تقييم تلوث الغلاف الجوي بواسطة الهيدروكربونات العطرية (*Xanthoria parietina*). متعددة الحلقات باستخدام المفاعل الحيوي للنبات وهو الحزاز

تم اختيار خمس محطات لإجراء 15 عينة في المنطقة الصناعية تحراشت في منطقة أقبو (بجاية) لأخذ عينات من الأشنة *Xanthoria parietina* حيث تم قياس الكميات الفسيولوجية للكلوروفيل والبرولين وتركيزات الملوثات الجوية للهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والجسيمات. وأظهرت نتائج الإحصاء الوصفي الاختلافات بين المحطات فروقات معنوية لمتوسط تركيزات الكلوروفيل أ و ب بين المحطات. أظهر تفاعل البوليميراز ANOVA المختلفة واختبار المتراكمة وارتباطات أقل أو غير معنوية PMs المتسلسل ارتباطاً إيجابياً بين الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات و (PAHs و PMs). ومعلومات الملوثات (Ch.a, Ch. b, Ch. Ab و proline). بين المعلومات الفسيولوجية

الكلمات الرئيسية: التراكم *Xanthoria parietina*، هيدروكربون عطري متعدد الحلقات، تلوث الغلاف الجوي، المنطقة الحيوي، المنطقة