

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



Faculté des sciences
Département de biologie

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

Bioaccumulation des HAP atmosphériques par *Xanthoria parietina* dans la zone industrielle de Réghaia

Présenté par :

- BOUZERKOUNE Ilhem
- HADDOU Meryem

Soutenu le 30/09/2021

Devant le Jury composé de :

M ^r BOUDJEMA K.	MCA	UMBB	Président
M ^r HARITI M.	MAA	UMBB	Examineur
M ^{me} BENAÏSSA F.	MCA	UMBB	Promotrice

Année universitaire 2020/2021

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



Faculté des sciences
Département de biologie

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

Bioaccumulation des HAP atmosphériques par *Xanthoria parietina* dans la zone industrielle de Réghaia

Présenté par :

- BOUZERKOUNE Ilhem
- HADDOU Meryem

Soutenu le 30/09/2021

Devant le Jury composé de :

M ^r BOUDJEMA K.	MCA	UMBB	Président
M ^r HARITI M.	MAA	UMBB	Examineur
M ^{me} BENAÏSSA F.	MCA	UMBB	Promotrice

Année universitaire 2020/2021

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Liste des abréviations	
Sommaire	
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : Généralité sur la bio surveillance de la qualité de l'aire

Introduction.....	3
1. Polluant atmosphérique, origine, classification et effet	3
1.1. Définition de la pollution atmosphérique.....	3
1.2. Source des polluants atmosphérique.....	4
1.2.1. Polluants primaire et polluants secondaire	4
1.2.1.1. Polluants primaires	4
1.2.1.2. Polluants secondaire	5
1.2.2. Polluants d'origine industriel.....	5
1.3. Dispersion des polluants atmosphérique.....	5
1.3.1 Echelle démission des polluants atmosphérique.....	6
1.3.1.1. Echelle locale	5
1.3.1.2. Echelle régionale.....	6
1.3.1.3. Echelle planétaire.....	6
1.4. Impacte de pollution atmosphérique	6
1.4.1. Impact sur l'environnement	6
1.4.2. Impact sur les végétaux	7
1.4.3. Impacte sur la santé	7
2. Pollution atmosphérique par les HAP	8
2.1. Définition des HAPs	8
2.2. Propriété chimique des HAP.....	8
2.3. Toxicité des HAPs atmosphérique.....	8

Table des matières

2.4. Source des HAPs.....	9
2.4.1. Source naturelle	9
2.4.2. Source anthropique.....	9
2.5. Transfert des HAP atmosphériques.....	10
2.5.1. Ttransfert des HAP atmosphériques dans l'aire.....	10
2.5.2. Transfert des HAP atmosphériques dans l'eau	11
2.5.3. Transfert des HAP atmosphériques dans le sol	11
2.6. Variation des concentrations des HAP dans l'air	11
<u>3. Méthode de la surveillance de la qualité de l'Aire.....</u>	<u>12</u>
3.1. Bio-surveillances.....	12
3.2. Utiles de la bio surveillance de la qualité de l'aire.....	12
3.2.1. Bioaccumulateur	13
3.2.2. Biontegrateur.....	13
3.2.3. Biomerqueure	13
3.2.4. Bioindicateur.....	14
3.3. Avantages et les inconvénients de la biosurveillance.....	15
3.4. Biosurveillances par des végétaux	15
4. Lichens et bio surveillance de qualité de l'aire	15
4.1. Lichens : définition, morphologique et reproduction	16
4.1.1. Définition des lichens	16
4.1.2. Morphologie l'appareil végétale des lichens.....	16
4.1.3. Reproduction des lichens.....	17
4.1.3.1. Reproduction sexuée	17
4.1.3.2. Reproduction asexuée	17
4.2. Croissances des lichens	17
4.3. Ecologie et Répartition des lichens	18
4.4. Intérêt de l'utilisation des lichens.....	18

Table des matières

4.5. Utilisation de <i>Xanthoria parietina</i> dans la bio indicateur des HAPs atmosphériques	18
4.5.1. Généralité sur <i>Xanthoria</i>	19
4.5.1.1. Description	19
4.5.1.2. Morphologique.....	19
4.5.1.3. Reproduction sexuée.....	19
4.5.2. Répartition géographique	20
4.5.3. Usages traditionnels.....	20
4.5.4. Caractéristiques botanique de <i>Xanthoria parietina</i>	20
Conclusion	21

CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

Introduction.....	22
1.1. Situation géographiques de la commune Reghaia	22
1.2. Situation géographique de la zone industrielle de Reghaia	22
1.3. Caractéristique de la zone d'étude	23
1.3.1. Relief.....	23
1.3.2. Géologie	23
1.4. Climat	23
1.4.1. Paramètres climatiques	23
1.4.1.1. Pluviométrie	24
1.4.1.2. Température	24
1.4.1.3. Vent	24
1.4.1.3.1. Rose des vents.....	25
1.4.1.4. Humidité de l'aire	25
1.5. Synthèse climatique	25

Table des matières

1.5.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953).....	26
1.5.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	26
2. Procédure de l'étude	27
2.1. Plan d'échantillonnage.....	29
2.1.1. Choix de l'espèce	29
2.2. Sites d'échantillonnages	30
2.3. Technique de récolte des échantillons.....	31
2.4. Paramètres mesurés.....	32
2.4.1. Extractions des HAPs atmosphériques	32
2.4.2. Extractions des poussières et des cires	34
2.5. Paramètres physiologiques	34
2.5.1. Dosage de la chlorophylle	34
2.5.1.1. L'extraction de la chlorophylle	34
2.5.2. Dosage de la proline	36
2.5.2.1. L'extraction de la proline	36
2.6. Traitements des résultats statistiques	36
Conclusion de chapitre	37

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Introduction.....	40
1. Distribution générale des données.....	40
2. Paramètres de pollution	41
1.1.1. Concentration des HAPs atmosphériques accumulés par <i>Xanthoria parietina</i>	41
2.1.1. Concentration des HAPs selon les sites	41
2.1.2. Concentrations des HAPs selon les stations.....	42
2.2. Quantité des poussières déposées sur les thalles de <i>Xanthoria parietina</i>	43
2.2.1. Quantité des poussières déposées sur les thalles de <i>Xanthoria parietina</i> selon les stations.....	44
2. Paramètres physiologiques	45
2.1. Dosage des chlorophylles chez <i>Xanthoria parietina</i>	45
2.1.1. Dosage de chlorophylle a (Ch. a)	46
2.1.2. Dosage de la chlorophylle b (Ch. b)	46
2.1.3. Dosage de chlorophylle ab (Ch. ab)	47

Table des matières

2.2. Dosage de la proline	48
4. Analyse en composante principale ACP.....	49
4.1. Proximité entre les individus.....	50
4.2. Variation entre les variables.....	50
III.5. Conclusion.....	51
Discussions	51
Conclusion générale.....	55
Références bibliographiques	
ANNEXES	

Remerciements

Nous remercions d'abord Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'achever ce travail et sans lequel il n'aurait jamais été accompli.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur Mme BNAISSA Fatima, professeur à l'Université de Boumerdes pour sa compréhension, ses conseils, sa gentillesse, son aide et ses orientations efficaces.

Nous remercions également les membres du jury Mr BOUJEMA d'avoir accepté de présider notre jury et Mr HARITI pour avoir accepté d'être examinatrice de notre travail de mémoire.

Nous n'oublions pas de remercier Mme DIAF Loundja, aussi nos amis et tous ceux, qui ont contribué, de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Merci à tous.

Dédicaces

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous avoir guidés vers le droit chemin, de nous avoir aidés tout au long de nos années d'étude.

Je dédie ce travail

A ma chère mère DJIDA.

A mon cher père MOHAMED.

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chères sœurs, NADJET et MARWA.

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher binôme, MERYEM.

Pour sa entente et sa sympathie.

A mes chères amies, AMEL et NADIA et NAIMA.

Pour leurs aidé et supporté dans les moments difficiles.

A toute ma famille,

Enfin je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent, en particulier les écologistes.

ILHEM.

Dédicace

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous avoir guidés vers le droit chemin, de nous avoir aidés tout au long de nos années d'étude.

Je dédie ce modeste travail à mon père LOUNES et ma mère BAHIA et mon homme ILYES qui m'ont soutenu moralement et tout au long de mes études.

Aussi je dédie ce travail

A mon frère : MOHAMED LAMINE

A mes sœurs : SOUAD, AMIRA, SIRINE

A mon grand père et ma grand-mère et mes oncles et mes tentes,

A tous les familles HADDOU et MIKIRI et ma deuxième famille RABAHI

A mon binôme ILHEM à qui je souhaite tout le bonheur dans la vie. A toutes les personnes que je connaisse et que je n'ai pas citées.

Enfin je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent, en particulier les écologistes.

MERYEM.

Liste des figures

Figure 1 : Principaux effets des polluants sur les végétaux.....	7
Figure 2 : Schéma récapulative de la bio surveillance.....	14
Figure 3 : Différents types des thalles utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'aire...	16
Figure 4 : Rose des vents de la région de Reghaia	25
Figure 5 : Diagramme ombrothermique caractérisant la région de Reghaia	26
Figure 6 : Diagramme d'emberger de la région de Reghaia.....	27
Figure 7 : Schéma simplifié le protocole d'étude d'accumulation des HAPs atmosphérique par le thalle <i>Xanthoria parietina</i>	28
Figure 8 : Photo de lichen <i>Xanthoria parietina</i>	29
Figure 9 : Carte illustre les sites de prélèvement de la zone industrielle de Reghaia.....	31
Figure 10 : Récolte de lichen <i>Xanthoria parietina</i>	32
Figure 11 : Extraction des HAPs par l'appareil Soxhlet.....	33
Figure 12 : Evaporation des solvants au bain marie.....	33
Figure 13 : Recueilles des poussières à l'aide papier filtre.....	34
Figure 14 : Mélange de matière fraîche d'acétone et une pincée de carbonate de calcium.....	35
Figure 15 : Spectrophotométrie	35
Figure 16 : Concentration des HAPs accumulés par le thalle <i>Xanthoria parietina</i> en fonctions des sites (S1, S2, S3, S4, S5, S6) et le témoin.	41
Figure 17 : Concentration des HAPs accumulée par le thalle <i>Xanthoria parietina</i> dans les stations de prélèvement de la région de Reghaia (juin 2021).....	42
Figure 18 : Quantité des poussières déposée sur les thalles de <i>Xanthoria parietina</i> dans les sites (S1, S2, S3, S4, S5, S6) et le témoin.....	43
Figure 19 : Quantité des poussières déposée sur les thalles de <i>Xanthoria parietina</i> en fonction des stations de prélèvement de la région industrielle de Réghaia (juin 2021).....	44
Figure 20 : Variation de la chlorophylle (a), (b), et (ab) en fonction des sites de prélèvement dans la région industrielle de Reghaia.....	45
Figure 21 : Variation de chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement dans la région de Reghaia (juin 2021).....	46
Figure 22 : Variation de chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement dans la région de Reghaia (juin 2021).....	47

Liste des figures

- Figure 23** : Variation de chlorophylle (ab) en fonction des stations de prélèvement dans la région de Reghaia (juin 2021).....48
- Figure 24** : Variation de la proline chez *Xanthoria parietina* en fonction des sites de e
- Figure 25** : Variation de la proline chez *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement de la région de Reghaia (juin 2021).....49
- Figure 26** : Cercle de corrélation des paramètres physiologique de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesuré sur les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région de Reghaia (juin 2021)49

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère.....	3
Tableau 2 : Les polluants et leur effet sur l'environnement.....	6
Tableau 3 : Les polluants et leur effet sur la santé.....	7
Tableau 4 : Récapitulatif des HAP émis par différents source naturelle.....	9
Tableau 5 : Récapitulatif des HAP émis par différents source anthropiques.....	10
Tableau 6 : Classification botanique de <i>Xanthoria parietina</i>	21
Tableau 7 : Différents polluants générés par les unités industrielles.....	22
Tableau 8 : Valeur de précipitation en (mm).....	24
Tableau 9 : Les valeurs du quotient pluviométrique d'EMBERGER de la station de Reghaia.....	26
Tableau 10 : Caractéristiques des sites d'échantillonnage.....	31
Tableau 11 : Présentation de quelques paramètres de position et de dispersion des résultats.....	40
Tableau 12 : Résultats de l'ANOVA réalisée sur chaque paramètre pour les trois stations de l'étude.....	43
Tableau 13 : Corrélation entre les paramètres de pollutions et les paramètres physiologiques.....	51

Abréviations, sigles et symboles

Abréviations, sigles et symbole

ASPA : Au service de la qualité de l'air.

Chl. (a): chlorophyll (a).

Chl. (b): chlorophyll (b).

Chl. (ab) : chlorophyll (ab).

COV : composé organique volatile.

D, G, F : Direction Générale des Forêts.

DGAC : Direction générale de la pollution de l'Avion civile.

ENAG : Entreprise nationale des arts graphiques.

HAP : Hydrocarbures Aromatique Polycyclique.

M : Moyenne des températures maximales de moins le plus chaud en degré de kelvin.

m : Moyenne des températures minimale de moins le plus froid en degré de kelvin.

ONM : Office Nationale de la Météorologie.

P : pluviométrie annuelle moyenne en mm.

PM : Particulate Mater (Particules en suspension).

Q2 : Quantien pluviométrique d'émerger.

Introduction

Introduction générale

Introduction

Depuis l'accélération des activités humaines (industrie, transport, bâtiments) durant ces derniers siècles, la pollution environnementale est devenue l'un des problèmes majeurs auxquels les humains doivent faire face (**Agnan, 2013**).

La complexité de la pollution atmosphérique réside dans les sources variées « naturelle ou anthropique » plus ou moins établies, qu'elles soient ponctuelles ou diffuses. La dispersion atmosphérique permet de transporter les contaminants des sites locaux jusqu'aux régions les plus reculées via le transport longue distance (**Garty, 2001**).

L'étude de la pollution atmosphérique vise à bien en comprendre ses particularités dans le but de limiter au mieux ses effets (**Dimo et al, 2010**).

De nos jours, on utilise les végétaux pour détecter les faibles niveaux de contamination, et pour en mesurer ou apprécier les niveaux les plus élevés en délimitant les régions atteintes et les zones de pollution décroissante autour des centre d'émissions, on considère de ce fait les végétaux comme des indicateurs de pollution (**Hellal et al, 2011 ; belhadj 2015**).

De nombreux végétaux peuvent être utilisés pour la bio surveillance de la qualité de l'air, soit parce qu'ils présentent des réactions biologiques caractéristiques en réponse à certains polluants, soit parce qu'ils accumulent dans leurs tissus certains des composés toxiques qui se trouvent dans l'air qui les entoure. Les organismes vivants sont connus pour témoigner des conditions environnementales selon leur sensibilité. Il s'agit de surveillance biologique, en utilisant les espèces animales ou végétales les plus sensibles face aux polluants recherchés dans leur milieu environnant. Dans ce contexte, les lichens et les mousses sont d'excellents bio-indicateurs pour évaluer la pollution atmosphérique (**Garrec et van Haluwyn, 2002**).

Parmi ces derniers, *Xanthoria parietina* est considéré comme l'un des lichens les plus appréciés et les plus utilisés dans la bio surveillance de la qualité de l'air (**Nimis et al, 2001**) et ce, grâce à sa haute tolérance aux polluants atmosphérique. (**Rahali, 2003**).

La mesure des teneurs en polluants dans des végétaux sensibles permet de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope (**Maatoug et al., 2007**). Si l'on ajoute 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 méthodes physicochimiques de surveillance de l'air (**Leblond, 2004**).

Introduction générale

En 1970 de nombreuses approches floristiques pour évaluer la pollution atmosphérique se sont succédées. L'approche écologique cherche à évaluer la qualité de l'air à partir de la présence et l'absence des espèces clés dans un relevé spécifique (espèces de lichens par exemple).

En Algérie, des travaux ont été réalisés sur la bio surveillance lichénique par Semadi en 1998, par Abbas en 2009, dans la région d'Annaba, au parc de Chréa avec (**Ait Hammou *et al*, 2011**) et à Tiaret par **Rahali (2003)** et **Ghennam (2011)**. Ces études ont été menées afin d'avoir des informations d'impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement dont la source est principalement le trafic routier, le transport, et l'industrie (raffinerie et cimenterie (**Bouteraa, 2014**)).

C'est dans ce contexte que nous avons orienté notre travail vers la bioaccumulation des HAP atmosphérique par *Xanthoria parietina* dans la région de Reghaïa (Alger).

Ainsi, nous avons structuré notre travail en trois parties :

- La première partie est consacrée à des généralités concernant la pollution atmosphérique, les lichens, la bio surveillance et les HAPs atmosphériques.
- La deuxième partie intitulée ; matériels et méthodes, consacrée à la présentation générale de la région d'étude (Reghaïa), le protocole expérimental ainsi que toutes les techniques analytiques employées dans ce travail.
- La troisième partie a été réservée aux résultats obtenus et leur discussion.

Chapitre I :

Généralités sur la Biosurveillance de la Qualité de l'Air

La pollution atmosphérique est devenue en quelques décennies un des problèmes majeurs de notre époque, englobant tous les continents de notre planète. Par la nature et l'entendu de son impact le rejet d'un grand nombre de polluants dans l'atmosphère représente une grave menace pour la santé humaine mais aussi pour l'environnement (FOAN ,2012).

Ce chapitre présente de manière générale la problématique de la pollution atmosphérique, on présentera les différentes sources d'émissions ainsi que les principaux polluants et leurs effets sur l'environnement et la santé même les végétaux, cela nous permettra par la suite de parler sur la pollution atmosphérique par les HAPs et leurs sources, dans la dernière partie de ce chapitre on parlera sur la biosurveillance végétale et leurs utilisations.

On terminera avec le lichen *Xanthoria pareitina* comme un bioindicateur de la qualité de l'air.

1. Polluants atmosphériques, origine, classification et effets

1.1. Définition de la pollution atmosphérique

De manière générale, la pollution atmosphérique se définit comme toute modification de l'atmosphère ambiante apparaissant sous forme, soit gazeuse par la présence de gaz nouveaux ou par l'augmentation de concentration de certains gaz, soit solide par la présence de poussière en suspension de taille plus ou moins grande, soit plus rarement liquide causée par des aérosols ou le brouillard, (Rahal, 2015).

C'est un problème majeur de ce siècle. Le compartiment atmosphérique, comme tout autre compartiment tel que l'hydrosphère, la lithosphère, ou la biosphère, participe au stockage et au transfert des éléments chimiques au sein des grands cycles biogéochimiques (Pedro, 2007 ; Rauch *et al*, 2009). Dans le tableau 1, sont illustrées les durées de vie de certains éléments.

Tableau 01 : Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère.

Substances	Durée de vie des polluants dans l'air
CH ₄	Année
CO	Mois
SO ₂	Jours à moi
O ₃	Quelque jour
COV	Heures à jours
Aérosols 1-10 μm	Minutes à jours
Aérosols 1 μm	Jours à semaines

Source : (LACOURE, 2001).

La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence d'impuretés dans l'air pouvant provoquer une gêne notable pour le confort ou la santé et un dommage aux biens. Cette pollution peut provenir de gaz, de vapeurs, de particules liquides ou solides ou encore de rayonnements.

C'est aussi une modification chimique et physique du milieu naturel aboutissant à des effets nuisibles pour l'homme (**Philippe, 2011**).

1.2. Sources des polluants atmosphériques

Avec l'avènement de nos civilisations modernes, les quantités de substances diverses rejetées dans l'atmosphère, altérant la composition normale de l'air, n'ont cessé d'augmenter (**Belhadj, 2015**). La quasi-totalité des activités humaines est source de pollution de l'air, qui apparaît essentiellement sous deux formes :

- Gazeuse : présence de gaz nouveaux ou augmentation de la proportion d'un gaz existant.
- Solide : mise en suspension de poussières. On peut mettre en évidence trois principales sources de pollution anthropiques :
 - la circulation automobile,
 - les installations industrielles (activités métallurgiques, pétrochimie, chimie, usine d'incinération...) ; selon les secteurs industriels, elle est émettrice de monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre, d'oxyde d'azote, de poussières, de composés organiques volatils (COV) (**Florian, 2011**),
 - les installations de combustion (chauffage, production d'énergie...). Il ne faut cependant pas oublier les sources domestiques et agricoles qui participent elles aussi à la pollution atmosphérique. La pollution atmosphérique peut avoir une origine naturelle : éruption volcanique, incendies spontanés, zones de marais. , des décompositions organiques, des feux de forêt, (**Ramade, 2002**).

La pollution émane donc de sources variées qui rejettent des polluants dits primaires. Puis, au contact les uns des autres, par synergie et réactions chimiques avec d'autres composants de l'atmosphère, ces "précurseurs" engendrent des polluants dits secondaires (**Rebouh, 2010**).

1.2.1. Polluants primaires et polluants secondaires

Selon leurs provenances, les polluants peuvent être primaires ou secondaires.

1.2.1.1. Polluants primaire

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

1.2.1.2. Polluants secondaires

Les polluants secondaires Sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV (**Lacour, 2001**).

1.2.2. Polluants d'origine industrielle

Le polluants d'origine industrielle sont responsables d'une pollution de proximité qui affecte la santé des populations lors des pics de pollution, mais participe aussi à la dégradation du patrimoine bâti et entraîne le plus souvent des nuisances olfactives, A l'échelle régionale, le transport et la transformation des substances oxydantes sont à l'origine des pluies acides. L'émission de substances précurseurs de la pollution photochimique (oxydes d'azote, composés organiques, monoxyde de carbone) est également imputable en partie aux activités industrielles, enfin comme d'autres activités humaines, l'industrie participe à l'effet de serre. (**Florian, 2011**).

1-3- Dispersion des polluants atmosphériques

Les masses d'air sont les principaux vecteurs de circulation des polluants. Leur circulation est sous l'influence :

- de la topographie : le relief naturel mais aussi celui de l'urbanisation.
- de la situation géographique : sous l'effet du rayonnement solaire, la terre se réchauffera plus vite que la mer dans l'après-midi et en fin de journée. Le phénomène de brise de mer (ascension de l'air chaud au-dessus des terres, création de zone de convergence au-dessus de la côte) est ainsi créé. De même, une brise de terre est engendrée la nuit et tôt le matin, quand la terre se refroidit plus vite que la mer.
- Conditions météorologiques
 - ✓ **Ensoleillement** : la température agit sur la chimie des éléments. L'action des rayons ultra-violets favorise la pollution d'origine photochimique tandis que le froid diminue la volatilité de certains gaz.
 - ✓ **Humidité** : favorise certaines réactions chimiques telles que la formation d'acides comme (HNO_3 - H_2SO_4).
 - ✓ **Inversion thermique** : En situation normale, la température décroît avec l'altitude et l'air chaud contenant les polluants au niveau du sol, se déplace verticalement (**Belhadj et al., 2015**).

1-3-1- Échelles d'émission de polluants atmosphériques

Les phénomènes de pollution atmosphérique concernent différentes échelles :

1-3-1-1- Pollution à l'échelle locale

La pollution dite de la proximité est principalement due à des sources fixes (panache industrielle ou résidentielle) ou mobiles (échappement dus au trafic routier), cela concerne la qualité de l'air ambiant au voisinage des sources d'émission dans un rayon de quelques kilomètres (Yves, 2004).

1-3-1-2- Pollution à l'échelle régionale

Elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire des centaines de kilomètres), à un millier de kilomètres des sources d'émission de pollution (Mouaïci, 2002)

1-3-1-3- Pollution planétaire

Il s'agit principalement, au niveau planétaire, l'appauvrissement de la couche d'ozone et du réchauffement climatique provoqué par l'émission de gaz à "effet de serre", principalement le gaz carbonique (CO₂) (DGAC, 2004).

1-4- Impact de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique représente des dommages qui peuvent se manifester en plusieurs façons.

1-4-1- Impact sur l'environnement

A l'échelle de la planète, la pollution de l'environnement provoque des dégâts majeurs. Le tableau 2, présente les effets sur l'environnement de certains polluants atmosphériques.

Tableau 2 : Effets de quelques polluants atmosphériques sur l'environnement (Casale, 2006).

Polluants	Effet sur l'environnement
CO	Toxique à haute dose pour les plantes (rarement observé).
CO ₂	Gaz à effet de serre.
SO ₂	Acidification des pluies (formation de H ₂ SO ₄), attaques du bâti, effets sur la végétation.
O ₃	Toxique pour les végétaux, baisse de l'activité photosynthétique, gaz à effet de serre.
Poussières	Dégradation du bâti, perturbation de la respiration et de la photosynthèse des plantes.
Pb	Toxique pour la faune (accumulation par la chaîne alimentaire).
COV	Gaz à effet de serre (formation de CH ₄).
NO _x (NO+ NO ₂)	Acidification des pluies (formation de HNO ₃).

1-4-2- Impact sur la végétation

Trois polluants essentiels qui agissent sur la végétation : oxydes d’azotes (NOx), dioxydes de soufres (SO₂) et l’ozones (O₃), (Bouteraa, 2014).

Le schéma en figure 1, représente les effets des polluants atmosphériques sur les végétaux.

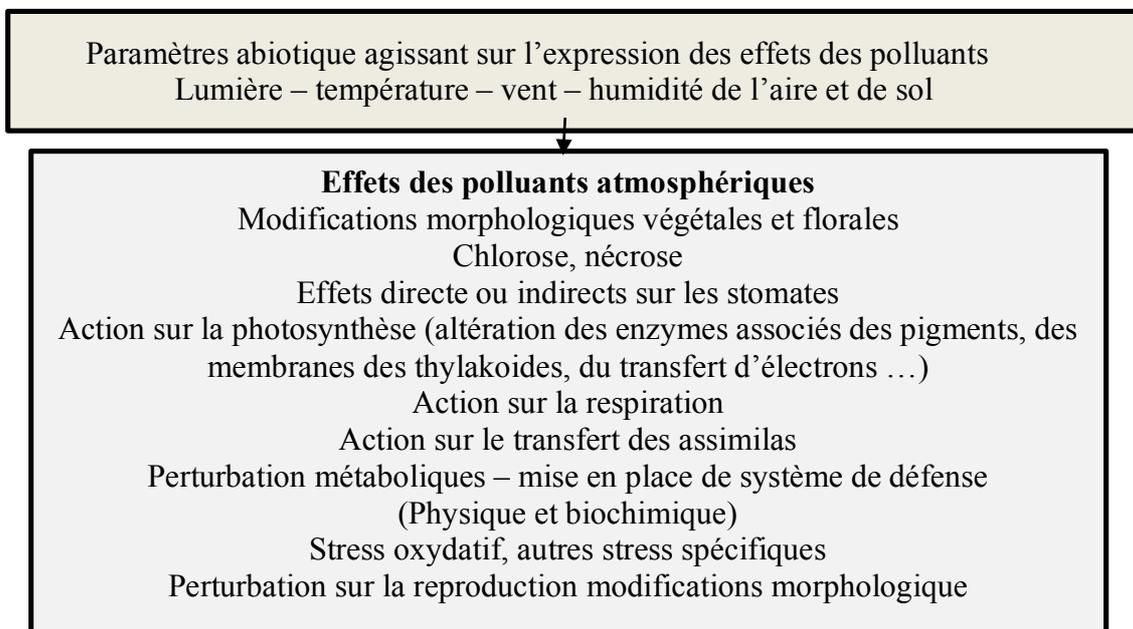


Figure 01 : Principaux effets des polluants sur les végétaux (Bouziane, 2006).

1-4-3- Impact sur la santé

L’analyse des effets à court terme de la pollution atmosphérique a permis d’observer que les niveaux de pollution aux années 2006 avaient encore un effet décelable par l’épidémiologie. Ainsi, un impact significatif des polluants atmosphériques urbains sur la mortalité, en particulier pour cause cardiaque et respiratoire (Pope et Dockery, 2006).

Tableau 3 : Effets de quelques polluants de l’air sur la santé (Casale, 2006).

Polluants	Effets sur la santé
CO	Fixation du CO sur l’hémoglobine du sang : anoxie, céphalée vertiges
CO ₂	Troubles pulmonaires
SO ₂	Gaz irritant, inflammations pulmonaires
O ₃	Céphalée, toux irritations oculaires, altérations des fonctions pulmonaires.
Poussières	Attaque des muqueuses nasales, effet cancérigènes probables problème cardio -vasculaires
Pb	Troubles sanguins de la croissance, et troubles neurologique si ingestion importante
COV	Irritation oculaire, toux, troubles du système nerveux, risque cancérigène
NO _x	Altération des fonctions pulmonaires, inflammation des bronches irritation

2- Pollution atmosphérique par les HAP

2-1- Définition des HAP

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques sont des polluants qui colonisent tous les milieux (air, eau, sols) sous forme particulaire ou gazeuse et sont émis lors de combustion de matière organique (pétrole, charbon, bois). Il font partie des premiers composés à avoir été identifiés comme cancérigène et mutagène et leur toxicité est très variable d'un composé à un autre. Les HAPs sont constitués uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène (**Canzunau, 2009**). Parmi les HAPs identifiés, 16 sont majoritairement étudiés car classés prioritaires par l'agence de protection environnementale américaine (US-EPA) du fait de leur caractère toxique (cancérigène, mutagène) et de leur persistance dans l'environnement. (**Marcais, 2017**). Ce sont des polluants qui ont été retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine (US-EPA) dès 1976 (Wilson et Jones, 1993).

2-2- Propriétés physicochimiques des HAP

Ce sont des composés organiques constitués de plusieurs noyaux benzéniques faits de carbone et d'hydrogène. Le noyau benzénique constitue de 2 à 7 pour les HAPs dans l'air ambiant.

Les HAPs peuvent être catégorisés comme des molécules hydrophobes et stables, mais du fait de leur variabilité structurale, il est important de prendre en compte plus finement leurs propriétés physico-chimiques (**Crespo, 2009**). Leur caractère hydrophobe augmente avec le nombre de cycles aromatiques, alors que leur solubilité diminue (**Pimsee, 2014**).

Selon leurs principales caractéristiques la plupart des HAP classés prioritaires sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau (**Ineris, 2005**). Etant hydrophobes, liposolubles et généralement peu volatils, les HAP ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques (Chefetz *et al*, 2000) ; (Accardi-Dey et Gschwend, 2002) ; (Zhou *et al*, 2004). Ces substances sont stables chimiquement mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu. La persistance des HAP sera également fonction de leur temps de demi-vie, lequel est plus important pour les HAP les plus lourds donc les moins solubles. Ainsi, les HAP sont considérés comme la première source de cancer en zone urbaine (Binkova *et al*, 1996), soit par contact direct, soit par ingestion ou par inhalation (Nielsen *et al*, 1996).

2-3- Toxicité des HAP atmosphériques

Comme pour tous les xénobiotiques, les effets toxiques et les nuisances induits par les HAP sont variables selon leur nature, leurs concentrations, les conditions d'exposition et les cibles biologiques concernées. En général, les expositions à une atmosphère contaminée sont

chroniques, c'est-à-dire continues ou répétitives, et mettent en jeu des concentrations faibles en polluants (**Dusserre et al. 1998**).

L'accumulation et la persistance des HAP présentent un risque pour la santé humaine et l'environnement à cause de leurs caractéristiques propres et à cause des nombreuses sources d'exposition. Les HAP possèdent des propriétés toxiques, mutagènes et cancérigènes (**Wild et al. 2006**).

On distingue dans l'atmosphère les HAP natifs (non-transformés) des HAP transformés. Parmi ces derniers, les nitro-HAP constituent les représentants les plus toxiques, mutagènes et cancérigènes. (**Zhang et al, 2010**).

2-4- Sources des HAPs

L'inventaire des sources et la quantification des émissions des HAP dans l'atmosphère est une des parties les moins bien connues de la recherche concernant la distribution globale et leur devenir dans l'environnement (**Deslame, 2011**).

2-4-1- Sources Naturelles

Les HAP sont présent à l'état naturel dans les combustibles fossiles tels que pétrole, gaz, charbon. Ils sont émis lors des incendies naturels, notamment les incendies de forêt, des HAP peuvent également être émis lors des éruptions volcaniques, Certains peuvent être synthétisés de façon naturelle par les végétaux, les bactéries et les algues (tableau 4).

Tableau 4 : HAP émis par différentes source naturelle (*Source : Bourcereau, 2008*)

Sources	HAP concerné
Combustibles fossiles	Acénaphthène, Anthracène (12g/kg de charbon), Benzo (a) pyrène, Chrysène, Indène (1, 2,3 –c, d) pyrène.
Incendies	Acénaphthène, Benzo (a) pyrène, Indène (1, 2, 3 – c, d) pyrène.
Eruption Volcanique	Acénaphthène, Benzo (a) pyrène, Indène (1, 2, 3 – c, d) pyrène
Synthèse naturelle	Benzo (a) pyrène (plantes, bactérie et algues), Indène (1, 2, 3 – c, d) pyrène (feuilles d'arbre 26 à 234 µg/ kg), feuilles de tabac 18µg/kg (HSDB, 2000).

2-4-2- Sources anthropiques

Dans les sources anthropiques, ce sont les HAP provenant des combustions incomplètes qui dominant. Ci-dessous, un tableau récapitulatif des différentes sources anthropique des HAP.

Tableau 5 : HAP émis par les différentes sources anthropiques. source : (Bourcereau, 2008).

Sources	HAP Concerné
Combustions incomplètes	Acénaphène, Anthracène (échappements d'automobiles (0,02 à 6,45µg/m ³ (OMS, 1998), Benzo(a)pyrène, Benzo(b) fluoranthène, Benzo (k) fluoranthène Chrysène, Dibenzo (a, h).
Raffinage du pétrole	Acénaphène, Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b) fluoranthène Benzo (k) fluoranthène, Fluorène (2,4µg/m ³ en France (OMS, 1998), Indéno [1, 2,3-c, d] pyrène.
Incinérateurs	Anthracène, Chrysène, Fluoranthène, Indéno [1, 2,3-c, d] pyrène.
Revêtement routier	Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène (10g/kg d'asphalte), Dibenzo(a,h)anthracène, Fluorène, Indéno[1,2,3c,d]pyrène (8g/kg de goudron), Pyrène.
Charbon	Acénaphène, Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b) fluoranthène, Benzo (k) fluoranthène, Naphtalène.
Huiles	Benzo(a)pyrène, Benzo(k)fluoranthène, Dibenzo(a,h)anthracène, Fluorène, Phénanthrène, Pyrène

2-5-Transfert des HAP atmosphériques

Tout composé organique ou minéral, même s'il est solide, peut théoriquement passer dans l'air. Direct dans le cas des gaz, ce passage s'effectue sous forme d'aérosols pour les Liquides à faible tension de vapeur et à l'état de fines particules dans le cas des solides (Ramade, 2010).

2-5-1- Transfert des HAP atmosphériques dans l'air

De nombreux facteurs affectent le transfert des HAP entre l'air et la végétation, parmi ceux-ci sont inclus : des facteurs environnementaux (température, vitesse du vent, humidité, luminosité), et des caractéristiques spécifiques aux feuilles des plantes (surface foliaire, structure cuticulaire, longévité de la feuille) (Barber *et al.* 2004). La capacité de transfert des HAP est étroitement liée aux capacités physico-chimiques de ces composés. Ainsi, plus le log Kow des HAP sera élevé, plus le facteur de transfert des HAP va diminuer (Howsam *et al.* 2001) ; (Lin *et al.*, 2006). Le phénanthrène et le naphtalène peuvent être prélevés par les parties aériennes des plantes à partir des phases gazeuses et particulaire (Kipopoulou *et al.*, 1999). Selon (Wild *et al.*, 2005), le phénanthrène peut subir deux types de transport, soit Apo plasmique (passage entre les cellules), soit symplasmique (passage dans les cellules) selon les espèces végétales étudiées. Selon (Piccardo *et al.*, 2005) les concentrations en HAP les plus volatils - ceux en phase gazeuse- sont plus importantes dans les organes foliaires que celles des H les moins volatils. La teneur en HAP augmente également en fonction de l'âge des feuilles.

2-5-2- Transfert des HAP atmosphériques dans l'eau

Dans le milieu aquatique, la plupart des HAP se trouvent adsorbés sur les sédiments et la phase particulaire de la colonne d'eau.

En effet, les HAP en phase dissoute sont en général en plus faible concentration qu'en phase particulaire (**Fernandes et al., 1997**). Pour les composés hydrophobes, comme les HAP, un coefficient de distribution élevé entre eau et phase particulaire peut être corrélé avec le contenu en matière organique des sédiments (**Loch et al., 1996**). Dans le milieu aquatique les HAP les plus mobiles vont subir une dégradation significative pendant leur transport dans la colonne d'eau de l'atmosphère à la surface des sédiments (**Grimalt et al., 2004**).

2-5-3- Transfert des HAP atmosphériques dans le sol

De nombreux HAP s'associent aux régions hydrophobes de la matière organique du sol à cause de leur faible solubilité dans l'eau (**Qiu et al., 1994**) et deviennent alors moins bio disponibles pour le transfert et la dégradation (**Shann et Boyle, 1994**). Ce processus d'adsorption étant réversible, ces sols pourront, à long terme désorber les HAP dans l'eau souterraine, l'eau de surface et l'air (**Anderson et al., 1997**).

2-6- Variation des concentrations en HAP dans l'air

Les HAP gazeux comportant 3 ou 4 cycles sont toujours retrouvés en proportions majoritaires dans les profils de HAP mesurés dans l'air. Par exemple, le phénanthrène est toujours retrouvé majoritairement dans différents sites échantillonnés en Europe (**Soderstrom et al. 2005 ; Tsapakis & Stephanou, 2005 ; Gioia et al. 2006**). Les concentrations et les profils en HAP dans l'air évoluent au niveau global avec la latitude, les composés les plus lourds étant moins représentés sous les latitudes plus élevées, ce qui est lié à une plus grande distance aux sources (**Gioia et al., 2006**). Les concentrations en HAP particuliers diminuent en général avec la distance aux sources d'émissions (**Hafner et al., 2005 ; Wang et al. 2008**).

Les concentrations varient également selon les pays. Les concentrations de HAP gazeux mesurés dans l'Est de l'Europe (Slovaquie, République tchèque, Est de la Pologne) sont 10 fois plus élevées que les concentrations retrouvées en Suède et en Autriche. De plus, dans chaque pays, les concentrations varient d'un facteur 1 à 3 selon le site considéré (**Soderstrom et al., 2005**). De plus, la densité de population humaine influence localement les concentrations atmosphériques retrouvées dans différents sites à travers le monde (**Hafner et al., 2005**). Les concentrations en HAP varient également dans le temps à différentes échelles (cycle journalier, saisonnier, interannuel) (**Breivik et al. 2006 ; Gioia et al. 2006**).

3- Méthode de la surveillance de la qualité de l'Air

A côté des méthodes classique de mesures et de modélisation, la bio surveillance se révèle un outil complémentaire fragile mais pour estimer l'impact de la pollution ou sensibiliser la population.

3-1- Bio surveillance

La bio surveillance est l'utilisation, à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes, pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution. (**Carrec et van haluwyn. 2002**).

Elle utilise des êtres vivant, pour mettre en évidence les modifications de l'environnement dans laquelle ils sont placés (**Cuny., 2012**). Les méthodes de bio- surveillances fournissent des informations sur la quantité de polluants ainsi que leurs effets sur les organismes en contact. C'est un bon outil pédagogique de visualiser l'action agressive d'un polluant sur l'environnement et un moyen d'aborder ses impacts sanitaires. (**Markert et al. 2003 cité par catinon. 2010 et Desrosières., 2003**).

Actuellement, on a besoin d'outils capables d'aborder de manier aussi globale et intégrée que possible le problème de pollution. Dans le souci d'améliorer les connaissances et contrôler des phénomènes mis en cause. Le développement de la Bioindiaction ouvre ainsi la voie à une surveillance plus large et écologique, intègrent l'effet sur l'environnement grâce à des organismes sentinelles (**Anonyme., 2005**)

La bio surveillance opère selon deux approches pour diagnostiquer une situation L'approche passive et l'approche active.

En bio surveillance végétale : l'approche dite de surveillance passive qui consiste à utiliser les matrices environnementales in situ (**Merlen, 2015**). C'est l'analyse des végétaux en place sur un site par rapport aux relevés de pollution de ce site et des paramètres stationnels, comme le climat, tout en considérant également les variabilités génétiques du végétal étudié.

L'approche dite de surveillance active qui consiste à transférer l'indicateur d'un point à un autre et de mesurer ensuite les évolutions (**Merlen, 2015**), c'est-à-dire des végétaux génétiquement sélectionnés et cultivés dans des conditions standardisées sont mis en place sur un site pendant une période donnée. Ainsi, l'évolution de leur état d'organisation (aux différents niveaux préalablement cités) traduit la pollution du site étudié (**Garrec & Van Haluwyn, 2002**).

3-2- Utilités de la bio surveillance de la qualité de l'Air

La bio surveillance recouvre quatre concepts essentiels : bio-accumulateurs , Bio-intégrateurs, Bio-marqueur et bioindicateur.

3-2-1- Bio-accumulateurs

La bioaccumulation est un processus par lequel les organismes vivants accumulent des substances chimiques directement à partir de l'environnement (air, eau, sol) et de leur nourriture, elle diffère en fonction des organismes (**Ah-Peng et al, 2004**), même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire si elle est toxique à l'organisme figure 02, (**Casale, 2006**).

Ce sont des organismes vivants capables d'accumuler des substances pouvant être toxiques dans leurs tissus. La bioaccumulation est un phénomène par lequel une substance s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme. Les concentrations trouvées dans les organismes sont supérieures à celles observées dans leur milieu. La bioaccumulation constitue un équilibre dynamique entre la plante et son milieu, équilibre dynamique dont la constante de temps dépend de la plante, de sa biomasse, de la vitesse de métabolisation du polluant ou de la vitesse de dépôt (**Garrec & Van Haluwyn, 2002**).

3-2-2- Bio-intégrateurs

Ils traduisent une modification de la présence et de l'abondance d'espèces indiquant la modification de l'environnement de ces espèces. L'introduction d'un polluant dans un milieu peut perturber, modifier la structure des populations et/ou des communautés, qu'elles soient animales ou végétales. Les biointégrateurs permettent de témoigner de l'état d'un système écologique et de détecter les modifications de ce système de par les variations de ses caractéristiques (**Fabure, 2009**).

Ainsi, les bryophytes présentent, comme les lichens, une sensibilité aux pollutions atmosphériques dues aux gaz industriels. En effet, on sait que des « indices de pureté atmosphérique » ont pu être déduits de l'examen des populations cryptogamiques des troncs d'arbres en combinant le nombre d'espèces, leur vitalité et leur degré de recouvrement (**Ozenda, 1990 ; Denayer, 2000**).

3-2-3- Bio-marqueur

Il se situe au niveau infra individuel : altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles (**Bouziane, 2006**). Selon **Lagadic et al (1997)**, un biomarqueur est un changement observable ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire ou physiologique qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant. Les biomarqueurs peuvent être classés comme suit:

- ✓ biomarqueurs d'exposition : ils indiquent que le polluant présent dans le milieu a pénétré dans l'organisme.

- ✓ biomarqueurs d'effet à l'exposition : ils indiquent que le xénobiotique est entré dans l'organisme et qu'après avoir été distribué entre les différents tissus, il a exercé un effet toxique ou non, sur une cible critique.
- ✓ biomarqueurs de sensibilité aux effets : ils traduisent le phénomène de variation d'origine génétique de la réponse à la contamination par des polluants. (Faburé, 2011).

3-2-4- Bioindicateurs

L'indicateur biologique ou bioindicateur sont des espèces sensibles, inféodé à un milieu suffisamment restreint pour le caractériser, ou à un état d'un des facteurs du milieu, qu'ils permettent d'identifier par leur apparition ou disparition, informe, sur les conditions du milieu. Les bio indicateurs sont des espèces ou des associations d'espèces qui par leur comportement générale (variation en nombre, disparition, etc.) sont capable de rendre compte de l'évolution générale de milieu (Bouteraa, 2014).

Un bio indicateur est considéré comme «un simple relais ne faisant référence qu'aux effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction). Cette méthode visuelle, qui ne tient compte que des polluants fortement toxiques et des végétaux « sensibles », est une méthode rapide simple et économique (Bouziane, 2006).

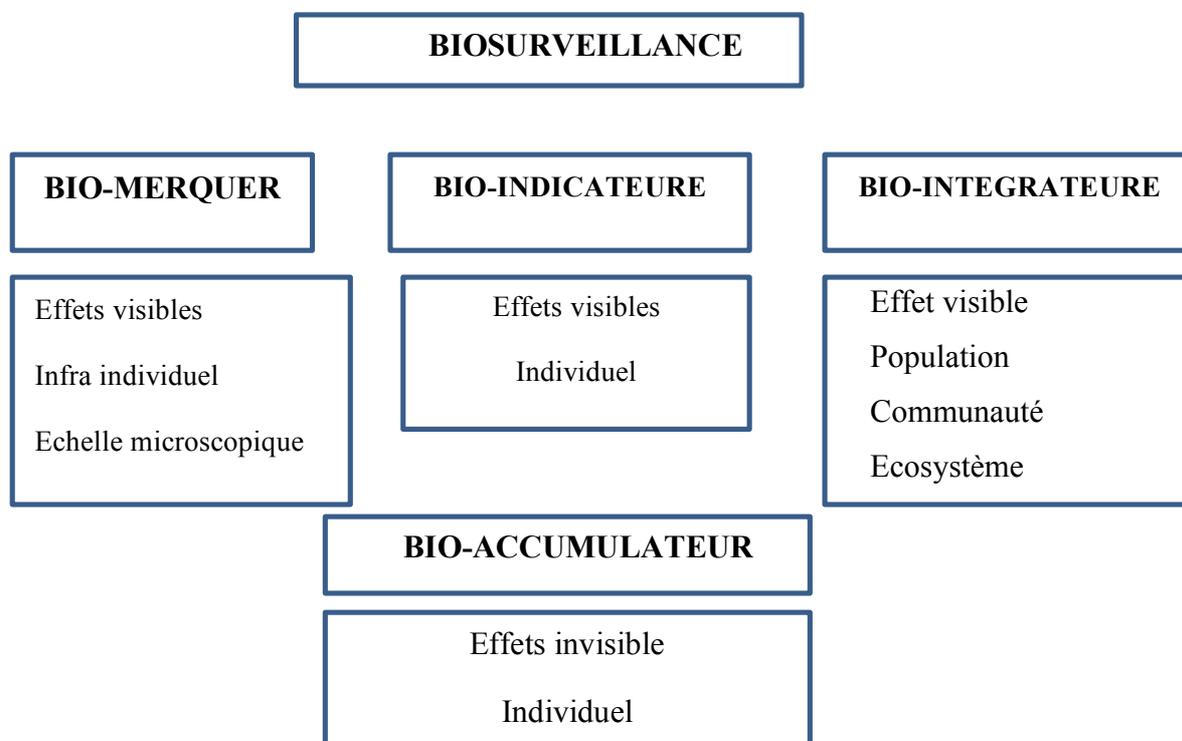


Figure 02 : Schéma récapitulatif de la bio-surveillance (Casale, 2006).

3-3-Avantages et les inconvénients de la bio surveillance

Comme toute démarche scientifique, la bio surveillance présente des avantages et des inconvénients.

3-3-1- Avantage de la bio surveillance

Les avantages de la bio surveillance sont nombreux, nous en citons quelques-uns:

- Intégration de la pollution spatiotemporelle,
- Détermination de l'impact de certains micropolluants dont les concentrations dans l'atmosphère sont difficiles à quantifier directement,
- Sensibilisation du public à la pollution.

3-3-2- Inconvénients de la bio surveillance

La démarche de la bio surveillance présente aussi des lacunes. Parmi elles, nous citons :

- Confusion avec d'autres stress biotiques ou abiotiques,
- Les parties aériennes des plantes ne sont pas soumises en permanence à la pollution de l'air, (ex : perte de la végétation en hiver)
- Temps de réponse élevé (ASPA, 2005).

3-4-Bio-surveillance par des végétaux

La bio-surveillance de la pollution atmosphérique à l'aide des végétaux a été très développée durant ces dernières années. En Europe, en Asie ; en Amérique et même en Afrique du nord ; plusieurs recherches ont été menées grâce à des travaux de divers institutions, aboutissant ainsi à démontrer que certains végétaux ont la propriété, soit de réagir très rapidement et d'une façon très visible aux polluants, soit d'accumuler très fortement les polluants présents, (Garrec., 2007).

En domaine de recherche les lichens se classent en premier lieu dans la bio-surveillance de la qualité de l'air, car les végétaux ont un grand pouvoir d'accumulation, ils accumulent de façon sélective des quantités très importantes de substances prélevées dans l'atmosphère comme le soufre, le plomb, etc. Cette propriété permet d'utiliser les lichens comme bio indicateurs d'une pollution spécifique (Ait Hammou, 2015).

4- Lichens et Bio surveillance de la qualité de l'air

Les lichens sont d'excellents bio- indicateurs pour évaluer la pollution atmosphérique.

4-1-Lichen : définition, morphologie et reproduction

4-1-1- Définition de lichen

Le mot « lichen » est un terme d'origine grecque, il désignait les plantes croissantes sur les troncs d'arbres auxquels on attribuait des vertus médicales à l'époque (**Ozenda et Clauzade, 1970**).

En effet, Les lichens sont issus d'une symbiose entre un champignon appelé mycobionte ou mycosymbiote, en majorité un Ascomycète, et une algue verte ou une cyanobactérie. Appelée photobionte ou photosymbiote (**Agnan, 2013**).

Cette symbiose confère aux lichens une structure et une reproduction spécifiques par rapport à chaque constituant seul. À la différence des plantes supérieures, ils ne possèdent ni racine, ni tige, ni feuille, mais un appareil végétatif rudimentaire : le thalle. (**Yuan et al., 2005**).

4-1-2- Morphologie et appareil végétal des lichens

L'appareil végétatif des lichens est un thalle, En effet, il existe six (6) types morphologiques fondamentaux : lichen crustacé ou incrustant, lichen foliacé, lichen fruticuleux, lichen squamuleux, lichen complexe et lichen gélatineux (figure 3).

- ✓ Thalles crustacés : ces thalles adhèrent fortement au support et sont parfois incorporés partiellement ou totalement
- ✓ Thalles foliacés : les thalles se fixent sur le substrat grâce aux crampons ou rhizines



Figure 3 : Différents types de thalles utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'air
(Source : **Arehn, 2004**).

- ✓ Thalles fruticuleux : ce sont des thalles qui peuvent être dressés, pendants ou étalés et n'adhèrent sur le substrat que par de surfaces réduites jouant le rôle de crampons

- ✓ Thalles squamuleux : ces thalles n'adhèrent pas au support, ils sont formés par une sorte d'écaille contiguë ou imbriquée
- ✓ Thalles complexes : ce sont des thalles primaires adhérant au substrat, surmontés de thalle secondaire en forme de cônes allongés
- ✓ Thalles gélatineux : ce sont des structures sombres et gélatineuses à l'état humide (**Ozenda et Clauzada, 1970**).

4-1-3- Reproduction des lichens

La reproduction permet au lichen de coloniser de nouveaux substrats lorsque les conditions sont favorables. Deux modes de reproduction peuvent être adoptés, sexuée et asexuée. Seul le champignon est capable de reproduction sexuée (**Sérusiaux et al, 2004**).

4-1-3-1- Reproduction sexuée (champignon seul) : le champignon se reproduit par de fructification sur le thalle des lichens qui sont en générale des apothécies, ou des lirelles (forme de fente dans le thalle) et des périthèces (un dôme avec orifice apical). Ces structures produisent les spores qui se développent après la rencontre avec une algue appropriée (**Agnane, 2013**).

4-1-3-2- Reproduction Asexuée (algue associée au champignon)

La reproduction asexuée est assurée par la dissémination du complexe lichénique contenant cellules algales et cellules mycéliennes. Les structures associées à ce mode de reproduction sont les sorédies et les isidies. Cependant, la fragmentation du thalle sec libérant directement des complexes lichéniques dans le milieu est possible sans demander de structure particulière

- **Reproduction asexuée par sorédies :** le thalle se déchire et laisse pousser des sortes de bosses appelées soralies de couleur différente de la surface du thalle. Ces soralies émettent de petits granules légers appelés sorédies qui se séparent facilement du thalle puis sont transportées par le vent ou les animaux. Les sorédies permettent la colonisation de nouveaux lieux parfois très éloignés.
- **Reproduction asexuée par isidies :** le thalle émet des petits bourgeons de la même couleur que la surface du thalle appelés isidies. Ces isidies se détachent mais, plus lourdes, elles tombent à proximité et permettent la colonisation d'un même endroit (ex : parois rocheuses ou murs) (**Van Haluwyn et al., 1993**).

4-2- Croissances des lichens

La croissance des lichens est très lente, de l'ordre de 0,1 à 10 mm par an. Elle est plus lente en hiver qu'en été, et plus rapide sur substrat riche. L'âge des grands lichens est de l'ordre de

plusieurs dizaines d'années pour les lichens foliacés, et plusieurs siècles pour les lichens crustacés de grande taille (**Bellenfant, 2010**).

4-3- Ecologie et répartition

Les lichens sont répandus à travers presque toutes les régions du monde : des zones les plus extrêmes, vers les pôles, jusqu'aux sommets, à la limite des neiges éternelles, dans les déserts rocheux, et représentent environ 8 % de la couverture terrestre (**Lange et al, 2001**). Ils colonisent la roche la plus dure, le sol le plus désert et peuvent supporter de très grosses variations de température. Aussi, les lichens sont capables de reviviscence, c'est-à-dire de passer rapidement, réversiblement et répétitivement de l'état sec à l'état hydraté, en particulier en haute montagne (**Aubert et al., 2007**). Ils tolèrent une dessiccation extrême et une exposition intense aux ultraviolet (UV) en particulier grâce à la présence de pigments corticaux qui piègent ou empêchent la formation de radicaux libres (**Nybakken et al., 2004; Gauslaa, 2005; Vrábliková et al., 2006**).

4-4- Intérêt de l'utilisation des lichens

Les lichens sont considérés comme une source potentielle des substances Pharmacologiquement actives. Ils sont utilisés depuis des siècles en médecine traditionnelle (**Wahyuono et al,1995**). Les lichens sont anti vomitive, Stomachique, fébrifuge et tonique (stimulant du système nerveux central), antianémique, antiinflammatoire (**Bugni et al., 2009**). Ainsi ils possèdent des propriétés antibiotiques permettant de combattre le bacille de Koch (tuberculose) et des propriétés antibactériennes, notamment dans les infections intestinales (**Podterob., 2008**).

Du fait de leur sensibilité ou de leur capacité d'accumulation de polluants, les lichens sont souvent utilisés comme bio-indicateurs. La présence d'une grande variété d'espèces et leur abondance sont généralement indicatrices d'une bonne qualité de l'air (**Gombert et Asta., 2006; Thormann., 2006**).

4-5- Utilisation de *Xanthoria parietina* dans la bio indication des HAPs atmosphériques

Xanthoria parietina est considéré comme l'un des lichens les plus appréciés et les plus utilisé dans la bio indication des HAPs atmosphériques.

4-5-1- Généralité sur *Xanthoria parietina*

4-5-1-1- Description

L'espèce a été décrite pour la première fois par Linné en 1753, sous le nom de Lichen parietinus est un champignon Ascomycète lichénisé par une chlorophycée (Algue verte unicellulaire) du genre Trebouxia.

Le genre Trebouxia est surtout connu comme un important photobionte du lichen (partenaire photosynthétique du thalle lichen), bien qu'il puisse également vivre librement sur des surfaces telles que l'écorce des arbres. Une espèce britannique vivant en liberté, *T. arboricola* Puymaly, est connue comme une algue terrestre commune sur le sol, les troncs d'arbres, les clôtures en bois, les murs et autres (John *et al*, 2002).

4-5-1-2.- Morphologie

L'espèce *Xanthoria parietina* est un lichen d'assez grande taille, dont le diamètre des thalles individuels dépasse rarement huit centimètres, mais peut exceptionnellement atteindre une quinzaine de centimètres. L'espèce peut toutefois occuper des surfaces considérables, de nombreux thalles pouvant coexister sur un même support, voire conflué en plaques étendues (Smith *et al.*, 2009).

Il s'agit d'une espèce foliacée dont les lobes, disposés en rosette, sont le plus souvent appliqués sur le substrat. L'extrémité des lobes est large et arrondie. Les rosettes ont parfois un aspect plissé, en particulier chez les exemplaires âgés. La face inférieure du thalle est blanchâtre et comporte quelques rhizines (fausses radicelles, issues de la soudure de poils, fixant le thalle à son support).

La couleur de ce lichen varie du jaune à l'orangé. Cette coloration est due à la présence dans le cortex d'une substance sécrétée par le champignon, la pariétine, un composé de la famille des anthraquinones, L'intensité de cette coloration est très variable, et l'on observe parfois, surtout à l'ombre, des thalles plus ternes, d'un gris-vert sans trace apparente de jaune (Smith.C-W *et al.*,2009).

4-5-1-3- Reproduction sexuée

Le thalle, presque toujours fertile, est recouvert généralement en son centre d'apothécies en forme de coupes orangées (couleur toujours plus foncée que le thalle et que leurs marges). Les premiers stades de ces apothécies peuvent déjà apparaître sur de très jeunes thalles (Honegger *et al*, 2004).

Ces structures, organes de la reproduction sexuée, donnent naissance à des ascospores, disséminées par le vent, l'eau ou les fèces des animaux qui se nourrissent des Xanthoria. Le développement de nouveaux thalles à partir d'ascospores ainsi disséminées nécessite toutefois la rencontre avec des cellules algales du genre *Trebouxia*, rares dans la nature (Meier. F *et al.*, 2002).

4-5-1-4- Répartition géographique

Le lichen *Xanthoria parietina* est une espèce cosmopolite, qui ne semble manquer que sur le continent Antarctique : elle habite essentiellement les régions tempérées d'Europe, d'Asie, d'Afrique, d'Amérique du Nord, d'Amérique du Sud et d'Australasie. Elle est cependant absente des massifs forestiers du fait de son héliophilie marquée (Lindblom *et al.*, 2006).

Une étude de phylogénie moléculaire portant sur des populations réparties dans le monde entier met en évidence deux groupes dans l'espèce telle qu'elle est actuellement définie : un premier ensemble groupant les populations de péninsule Ibérique, des Baléares et des Canaries, et un second correspondant aux xanthories du reste du (Honegger *et al.*, 2004) L'hypothèse selon laquelle *X. parietina* pourrait correspondre à un complexe d'espèces cryptiques n'est pas exclue (Scherrer et Honegger, 2003).

4.5.2. Usages traditionnels

En raison de sa couleur jaune vif, il était utilisé par les guérisseurs médiévaux (appliquant la théorie des signatures) pour soigner la jaunisse, la diarrhée et les maladies du foie (Tiévant, P., 2001). En Andalousie, la médecine traditionnelle l'utilisait pour les douleurs menstruelles, les troubles hépatiques et comme analgésique (González *et al.*, 1995).

En outre, des études récentes ont révélé ses propriétés antivirales, notamment contre les virus de type influenza. L'étude de l'imprégnation de l'environnement de trois bassins de vie de la région Nord-Pas-de-Calais par les éléments traces métalliques vers une nouvelle utilisation des données de bio-surveillance lichénique (*Xanthoria parietina*) du fait de leur longue persistance (Florent *et al.*, 2013).

4-5-3- Caractéristiques botanique de *Xanthoria parietina*

Xanthoria parietina est un lichen à Thalle foliacé, jaune orangé, à lobes plats de 1 à 6 mm de large arrondis aux extrémités. Les Apothécies sont généralement nombreuses dans la partie centrale, pouvant atteindre 4 mm de diamètre ; il présente un disque jaune-orangé à bord Tallin persistant Belhadj et Benbrahim, 2015.

La taxonomie de *Xanthoria parietina* est représentée dans tableau 6.

Dans ce premier chapitre, différents types de polluants de l'air ont été abordés ainsi que leurs effets néfastes, Les composés chimiques peuvent être transportés à une distance plus ou moins longue selon les conditions météorologiques et selon leur durée de vie.

Tableau 6 : Classification botanique de *Xanthoria parietina* (L.), (Beltr, 1858).

Règne	Fungi
Disision	Ascomycota
Sous-embrenchement	Pezizomycotina
Classe	Lecanoromycetes
Ordre	Teloschistales
Famille	Teloschistaceae
Genre	<i>Xanthoria</i>
Espese	<i>Xanthoria parietina</i>

La pollution atmosphérique par les HAPs est très toxique. L'accumulation et la persistance des HAPs présentent un risque pour la santé humaine et l'environnement à cause de leurs caractéristiques propres et à cause des nombreuses sources d'exposition car les HAPs possèdent des propriétés toxiques, mutagènes et cancérigènes.

Pour cela de nombreux végétaux peuvent être utilisés pour la bio surveillance de la qualité de l'air, parmi ces derniers, *Xanthoria parietina* est considéré comme l'un des lichens les plus appréciés et les plus utilisés dans la bio surveillance de la qualité de l'air.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Introduction

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

Le présent chapitre est divisé en deux parties le premier englobe la présentation de la zone industrielle où nous avons effectué notre étude, et les paramètres climatiques de la zone, la deuxième partie concerne les matériels utilisés, le protocole expérimental ainsi que toutes les techniques analytiques employées.

1.1. Situation géographique de la commune Reghaia

Réghaïa est une commune de la banlieue située à 27 km de l’Est d’ALGER. Elle est délimitée au nord par le méditerranéen et de sud par la commune de khmis elkhachna et ouled moussa, C’est une zone densément peuplée et en croissance démographique forte où les activités agricoles et industrielles sont prépondérantes. C’est une ville à vocation industrielle bien que la moitié de son territoire soit composée de zones agricoles.

1.2. Situation géographiques de La zone industrielle Reghaia

La zone industrielle Reghaia-Rouïba s’étale sur une superficie de 1000 ha. Située à 5,6 km entre Réghaia et Rouïba ; C’est l’une des plus importantes zones du pays, qui regroupe 202 unités, dont 70 du privé, elle abrite notamment des géants des industries mécanique, chimique, alimentaire et direction de fabrication. Renferme des activités polluantes dont les plus importantes sont indiquées dans le **tableau 7**.

Tableau 7 : Différents polluants générés par les unités industrielles (source : **Boussekine, 2011**)

Unité	Caractéristique des effluents
SNVI	Huiles ,Substances minérales dissoutes Corps en émulsion ou en solution, Mercure ,Acétone
SNTA 01 SNTA 02	Chlorates , potassium, soufre et paraffine
ANNAABIB	Diluant , catalyseur , oxygène , peinture et bitume
ENAD SH	Alcool, crème , savon
EMAL	Eau , levure , résidu de distillation de l’alcool Matières organiques dissoutes (azote , aldéhyde , amidon fermenté cétones)
TAMEG tannerie CHEBOUR tannerie Safci – Cuire SAFGI	Métaux lourds de sels sulfure de chaux Boues toxiques avec une odeur pénétrante
FRUTAL COCA COLA PEPSI SIROP OUAHIB	Matière en suspension , colorants , polluants biodégradables fermentescibles

1.3. Caractéristiques de la zone d'étude

1.3.1. Relief

Le relief joue un rôle dans la diffusion de la pollution en agissant sur la direction du vent, sur l'humidité ainsi que sur la température.

D'après **Chebli (1971)**. On remarque dans l'ensemble quatre éléments divers de reliefs, de configuration plate ou légèrement ondulé. Leur caractéristique est les suivantes :

- ✓ Plateau ouest : c'est le plateau de Bordj El Bahri –Ain- Taya. Il descend graduellement vers la plage en forme de falaises à pentes plu ou moins abruptes
- ✓ Plateau Est : c'est le plateau de boudouaou. Il s'étale sur la pente Est de la zone d'études et se termine sur le littoral par des falaises.
- ✓ Plateau Sud : Il englobe tous les terrains qui proviennent du Hamiz jusqu' 'à la ville de Reghaia. Il est formé de terrasses qui s'achèvent, au sud de l'oued Reghaia
- ✓ Plateau centrale : Il s'étend sur toute la zone d'étude sillonnée par l'oued Reghaia qui forme une petite vallée étroite. Ce dernier comprend deux versants : l'un à l'Est, l'autre à l'Ouest, Dans la partie Nord de la vallée s'allongent des dunes plus ou moins fixée qui séparent l'embouchure de l'oued Reghaia de la mer. (**Khelloul, 2011**)

1.3.2. Géologie

Mutin (1977), affirme que la zone de Reghaia est une formation géologique qui est passé par un plissement puis un remblaiement.

Les faciès datent du quaternaire récent et actuel, les principaux faciès sont de type alluvionnaires marécageux, elles se composent de dépôts lacustres, de dépôts marins, d'alluvions récentes, caillouteuses et limoneuses, de dunes consolidées, de lumachelles à pétoncles, de poudingues, et de grés marins, de sables argileux et d'alluvions anciens du quaternaire (**D.G.F, 2004**).

1.4. Climat

Le climat de Réghaia est qualifié de variante de type méditerranéen, c'est-à-dire répartition irrégulière des pluies au cours de l'année.

L'analyse climatique est basse sur les données fournies par l'office national de la météorologie de Dar-El-Beida (ONM) ; pour une période allant de 1996 à 2005. (**O.N.M. 2005**).

1.4.1. Paramètres climatiques

La qualité de l'aire dépend fortement des conditions météorologiques. Pour une même quantité de rejets, celle –ci peut varier considérablement. (**Rahal, 2015**).

Les factures météorologiques qui ont un rôle particulièrement important dans la diffusion et la dilution des polluants sont : la température, les précipitations, l'humidité et les vents.

1.4.1.1. Pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestre C'est ensemble des précipitations (pluie, grêle et neige) qui tombent sur une aire Géographique et au cours d'une période de temps donnée, généralement pendant le cycle annuel (**Ramade, 2002**).

Tableau 8 : valeur des précipitations (en mm).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Spte	Oct	Nov	Des
P	83,5	82,5	39,6	63,8	46,4	4,9	2,1	11,6	24,4	47,3	98,0	91,5

Les mois les plus pluvieux de la station de Réghaïa est le moins de novembre, soit 98.0 mm Le moins de juillet représente le moins le plus sec avec une pluviométrie de 2.1 mm.

1.4.1.2. Température

La température est l'élément du climat le plus important étant données que tous les processus métabolique en dépendent. La grande majorité des êtres vivants ne peut subsister que dans un intervalle de température comprise entre 0et 50°C les exceptions se rencontrant surtout dans le milieu aquatique (**Dajoz, 2006**).

T° max : Températures maximales en °C

T° min : Températures minimales en °C

T (M+m)/2 : Températures moyennes en °C

La région de Reghaia est soumise à des variations thermiques importantes. Les températures extrêmes oscillant entre 5.0°C en hiver (février le mois le plus froid) à 32.7°C en été (aout le mois le plus chaud).

1.4.1.3. Vent

Le vent a une action directe ou indirecte sur les être vivant, en modifiant la température l'humidité ambiante. Il consiste en certain biotopes un facteur écologique limitant, La direction et la force du vent ont une influence directe sur la dispersion et le transport des polluants atmosphériques (**Ratier, Dron, 2018**).

Les vents qui prédominent dans la zone d'étude Reghaia sont ceux du Nord-Ouest. Le sirocco souffle en moyenne 5 jours par an et les orages sont fréquents, surtout en hiver et en automne avec en moyenne 23,3 jours/an. (**Boussekine, 2011**)

1.4.1.3.1. Rose des vents

La rose des vents pour Réghaia, en figure 4, montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée. Exemple SO : le vent souffle du sud-ouest (SO) au nord-est (NE).

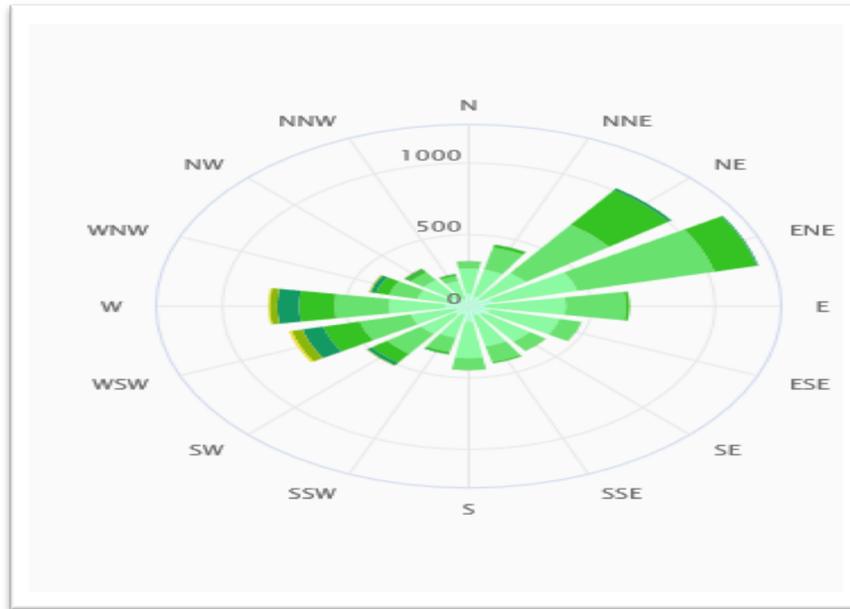


Figure 4: Rose des vents de la région Réghaia (Source : www.meteoblue.com).

1.4.1.4. L'Humidité de l'air

La période humide englobe les trois saisons (automne, hiver, et printemps) et la période sèche correspond à l'été.

1.5. Synthèses bioclimatique

1.5.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Le diagramme ombrothermique imaginé par Gaussen, consiste à placer en abscisses les de l'année et les ordonnées les températures à droite et les précipitations à gauche avec pour échelle $1^{\circ}\text{C}=2$ de précipitation (Ramade, 2002).

On obtient aussi des courbes superposées : l'une donnant les variations thermiques l'autre les variations des précipitations, les périodes d'aridité sont marquées sur ce diagramme par les régions où la courbe de pluviométrie est au-dessus de la courbe thermique.

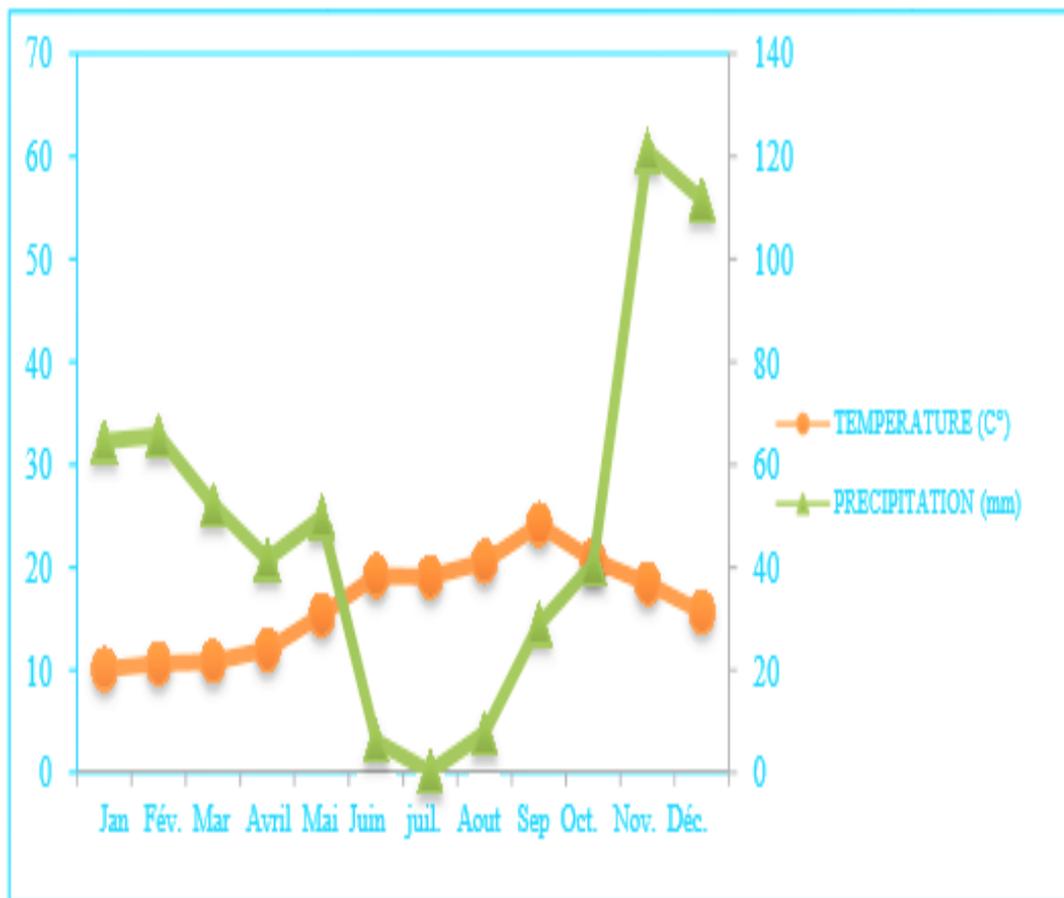


Figure 5 : Diagramme ombrothermique caractérisant la région de Réghaïa (2013).

1.5.2. Climagramme d’Emberger

Emberger a proposé un quotient pluviométrique et un climagramme qui permet de distinguer les différents étages climatiques méditerranéens.

1.5.2.1. Quotient pluviométrique d’EMBERGER

Pour identifier le climat aux quelle se située Reghaia, on utilise le climagramme d’EMBERGER, ce dernier permet de situer une zone dont un étage bioclimatique grâce au quotient pluviométrique « Q2 ». Il est déterminé comme suit : $Q2=2000 p/M^2 - m^2$

Tableau 9 : Valeurs du quotient pluviométrique d’EMBERGER de la station de Réghaia

Paramètre	P (mm)	M (K°)	M (°K)	Q2	Etage bioclimatique
Valeur	595,6	305,85	278,15	73,63	Sub humide

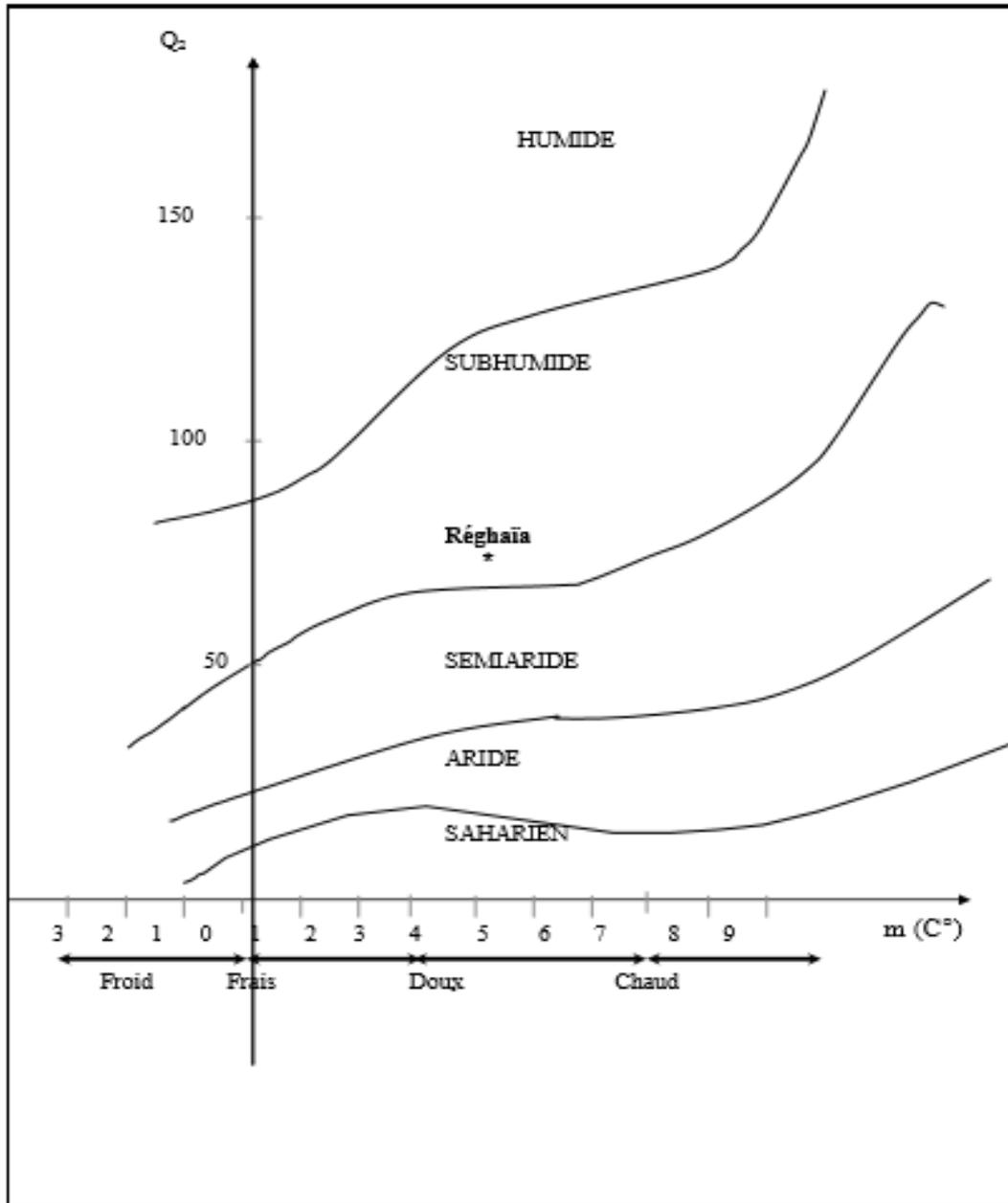


Figure 6 : Diagramme d'Emberger de la région de Réghaïa.

P= pluviométrie annuelle moyenne en mm

M= Moyenne maximale du mois le plus chaud en degré de kelvin.

m= Moyenne minimale du mois le plus froid en degré kelvin.

2- Procédure de l'étude

Les travaux de la présente étude, sont déroulés en deux étapes : la première sur le terrain et la deuxième au laboratoire. Le schéma en figure 7, présente le résumé du protocole de réalisation de chacune de ces deux étapes.

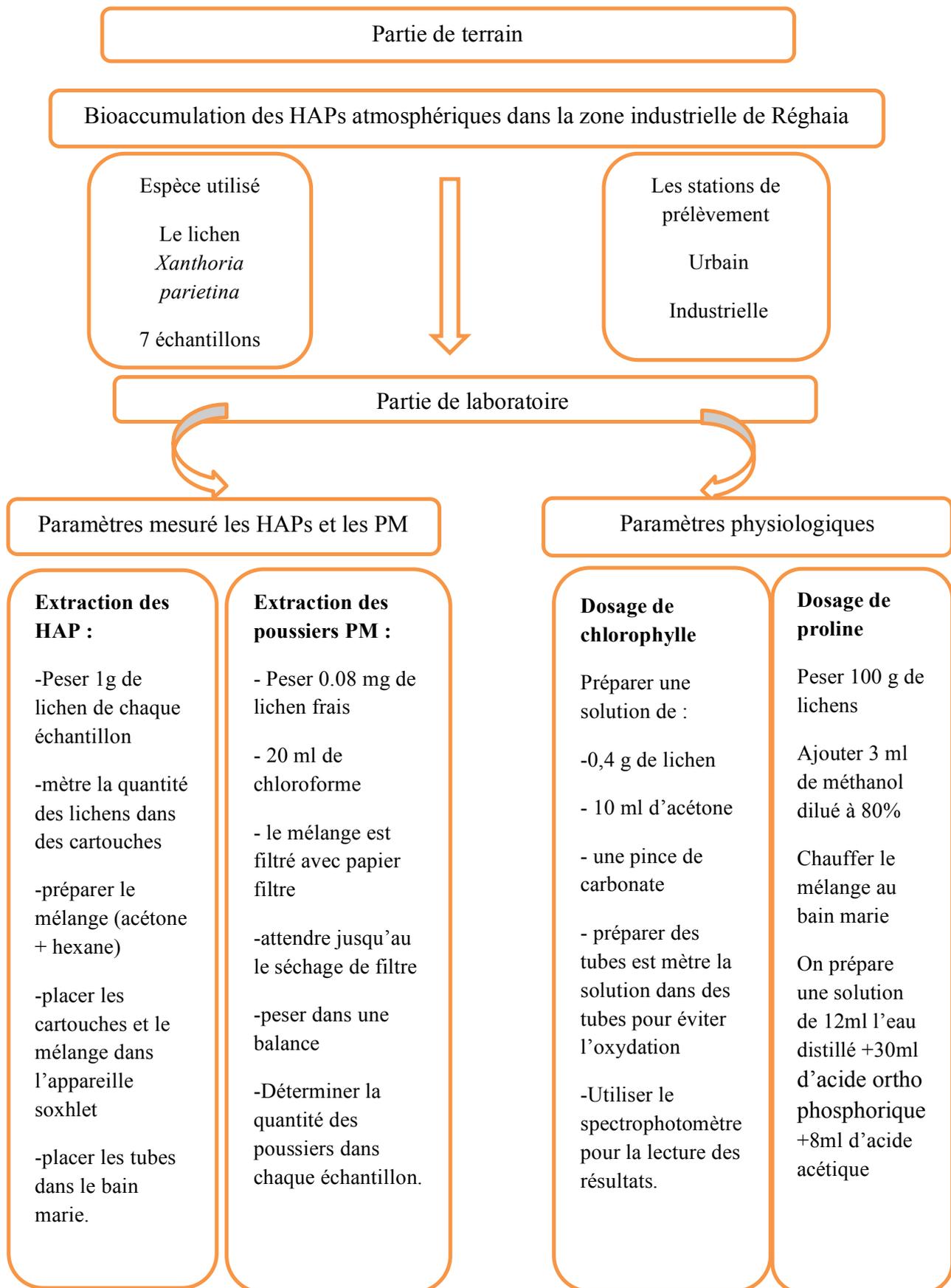


Figure 07 : Schéma simplifié le protocole d'étude d'accumulation des HAP atmosphériques par le thalle *Xanthoria parietina* .

2.1. Plans de l'échantillonnage

À travers la zone industrielle de Reghaia l'échantillonnage a été effectué de 20 à 21 juin 2021. Au départ on a choisi aléatoirement 12 stations situées à des distances bien définies ne dépassant pas 1 km, Mais après, lors de la réalisation des échantillons, on a opté uniquement pour (6) parmi les (12) stations. Les (6) autres stations sont écartées d'une étude car elles étaient complètement dépourvues de l'espèce *Xanthoria Parietina*.

Dans chaque station, les points d'échantillonnage sont sélectionnés selon la présence d'espèces *Xanthoria Parietina*.

2.1.1 Choix de l'espèce

Le matériel végétal utilisé est le thalle *Xanthoria parietina*, Cette espèce a déjà fait l'objet de nombreux travaux scientifiques indiquant qu'il est un excellent accumulateur des HAPs atmosphériques.

C'est un lichen à Thalle foliacé, jaune orangé, à lobes plats de 1 à 6 mm de large arrondis aux extrémités (figure 8),



Figure 08 : photo de lichen *Xanthoria parietina* (Bouzerkoune et Haddou, 2021).

Les Apothécies sont généralement nombreuses dans la partie centrale, pouvant atteindre 4 mm de diamètre ; il présente un disque jaune-orangé à bord thallin persistant. Les spores sont incolores, polariloculaires, de diamètre $10-17 \times 6-9 \mu\text{m}$. On le retrouve sur tout substrat rocheux, acide ou calcaire, toits et troncs d'arbres (Belhadj, 2015).

2.2. Sites d'échantillonnage

En générale, pour mieux connaitre les niveaux de pollution, il est important de mettre en place des réseaux de prélèvement, en essayant de choisir des sites bien exposés à la source de pollution. et on utilise l'appareil GPS pour lire les (altitudes, longitudes, latitudes).

Nous avons choisi 7 stations, 6 (industriel, urbain) et une station comme témoin

Site 01 : se trouve au nord de Réghaia (N 36°43.879', 003°20,232'), proche des activités industrielles de l'usine des poisons ROYELLE elle présente une couverture végétale importante.

Site 02 : C'est un site urbanisée, se trouve au Nord aussi (N36°, 43,847', E003°20, 175)

Site 03 : est située en face l'unité industrielle EPE(ANNAABIB) caractérisée par une végétation rare se trouve au nord de Reghaia (E003°21,180, N36°44,851)

Site 04 : est trouvé à côté de la route caractérisé par une végétation dense (E19, 995, N760).

Site 05 : C'est un site urbanisé située au nord (N742, E0.55)

Site 06 : Ce site localisé entre deux grandes unités industrielles, entreprise nationale de pétrole et EANG (entreprise nationale des arts graphiques), à une forte densité végétale avec (N598, E19,843)

Site 07 : c'est un site de référence éloigné de la pollution situé au nord (E 3°1834.41, N36°44 11.73).

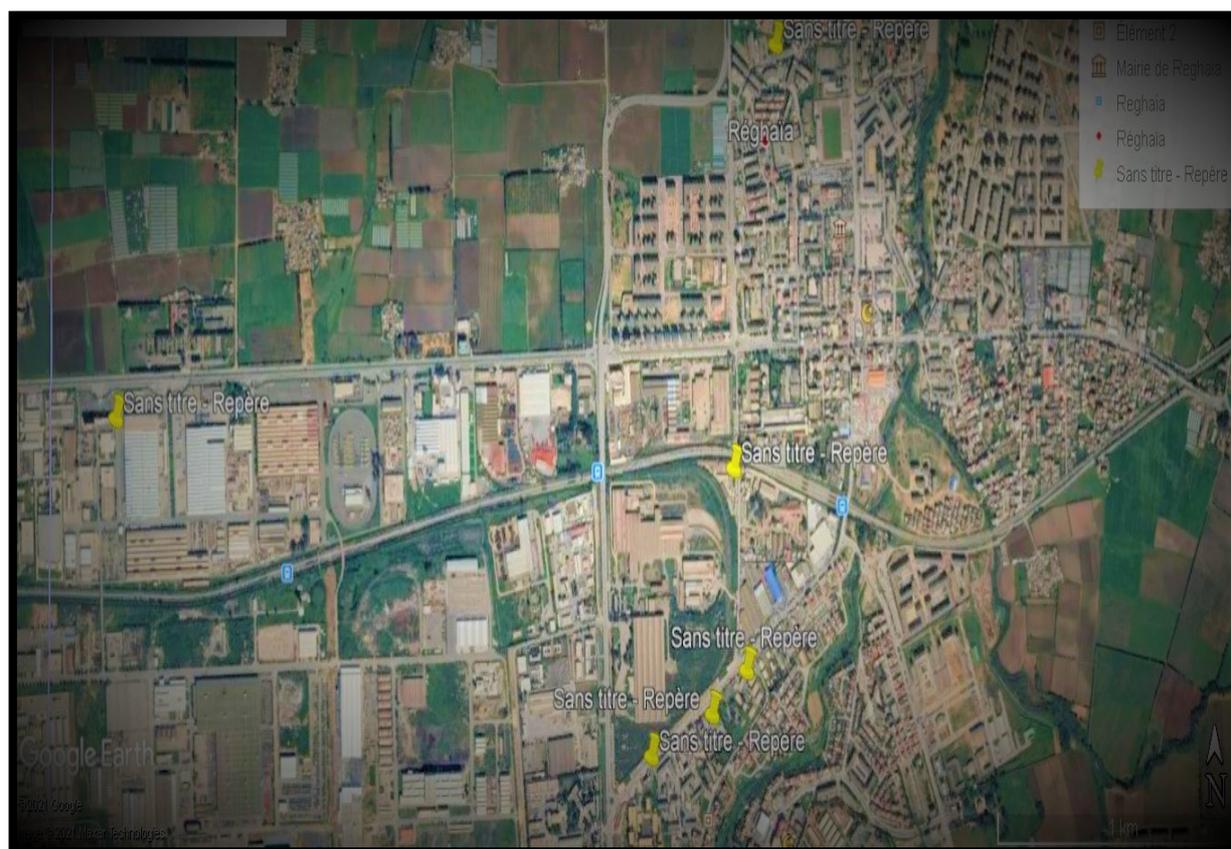


Figure 9 : Carte illustre les sites des prélèvements de la zone industrielle de Reghaia (**Google Earth, 2021**).

Tableau 10 : Caractéristiques des sites d'échantillonnage.

Les sites	Longitude	Altitude	Latitude	Type d'exposition
Site 1	E 003°20, 232	24 m	N 36° 43, 879	Industrielle
Site 2	E 003°20,175	27 m	N 36° 43, 847	Urbain
Site 3	E 003°21,180	27 m	N 36° 44,8 51'	Industrielle
Site 4	E 19, 995	27 m	N 760'	Urbain
Site 5	E 0 ,55	26 m	N 742'	Urbain
Site 6	E 19, 843	28 m	N 598'	Industrielle
Site 7 (témoin)	E 3°18'34,41	40 m	N36°44' 11,73	Rurale

2.3. Technique de récolte des échantillons

Les échantillons de *Xanthoria parietina* sont prélevés d'une (Olivier, Morus, populus vert). Les prélèvements sont réalisés dans la mesure du possible en dehors des périodes de fortes

précipitations pour éviter toutes influences sur la bioaccumulation des polluants ils sont effectuée le même jour de moins juin 2021 dans des différent zones urbains et industrielles de la région de Réghaïa.



Figure 10 : Récolte de lichen *Xanthoria parietina* (Haddou et Bouzerkoune ,2021)

2.4. Paramètres mesurés

Pour évaluer la quantité des paramètres de pollution tel que les HAPs atmosphériques et les poussières accumulés et déposés dans les thalles de *Xanthoria parietina* on utilise des techniques d'extractions et des dosages différents.

2.4.1. Extraction des HAPs atmosphérique

Pour l'extraction des HAPs atmosphériques à partir de lichen *Xanthoria parietina*, nous avons utilisé l'appareil Soxhlet disponible au laboratoire pédagogique (2.24) de notre faculté (figure 11).

L'extracteur Soxhlet est un ingénieux dispositif en verre permettant l'extraction d'une substance. Notre appareil est de marque (behrotest à 6 dispositifs).

1g de lichen de chaque échantillon est placé dans une cartouche en cellulose les échantillons seront extraits avec ,120 ml de mélange de (60 d'acétone +60 d'hexane).



Figure 11 : Extraction des HAPs par l'appareil Soxhlet.

Après 2 à 3 heures d'extraction, les extraits sont passés au bain marie à 90° C (figure 12) pour l'évaporation des solvants, puis ils sont mis à l'étuve pour le séchage des hydrocarbures, ensuite les extraits sont pesés par une balance de précision.



Figure 12 : Evaporation des solvants au bain marie.

Les concentrations des HAP totaux sont déterminées de manière indirecte, selon la formule suivante :

$$P(\text{HCT}) = (P_{\text{cp}} - P_{\text{cv}} / P_{\text{e}}) * 10$$

P (HCT) : poids des hydrocarbures totaux en $\mu\text{g.g}$

P_{cp} : poids du creuset plein

P_{cv} : poids du creuset vide

P_{e} : poids l'échantillon

2.4.2. Extraction des poussières et des cires

L'extraction des poussières et des cires se fait par l'utilisation de 0.08 mg de matière fraîche et de chloroforme.

Les échantillons sont pesés, ensuite on leur a ajoutés 20 ml de chloroforme. Après 35 seconde, ils sont filtrés avec un papier filtre pour le recueil des poussières (figure 13).



Figure 13 : Recueil des poussières à l'aide papier filtre.

A la fin, le filtrat est passé sur une balance de précision.

2.5. Paramètre physiologie

Les plantes sont soumises au stress oxydative et des perturbations observables dans leurs tissus extérieurs, et pour les connaître on a choisi deux paramètre physiologique la chlorophylle et la proline pour les mesuré aux niveaux des thalles de *Xanthoria parietina*.

2.5.1. Dosage de la chlorophylle

Dans le but d'évaluer l'effet de la pollution sur la photosynthèse et spécialement sur la chlorophylle des végétaux utilisés, nous avons opté pour le dosage de la chlorophylle.

2.5.1.1 L'extraction de chlorophylle

On a pesé 0.4 g de matière fraîche qu'on broie dans un mortier avec 20 ml d'acétone à 80 % et une pincée de carbonate de calcium (CaCO_3). Après broyage total (figure 14), la solution est conservée à des tubes pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Le dosage se fait par le prélèvement de 3 ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre (figure 15) et le passage à la lecture.



Figure 14 : Mélange de matière fraîche, d'acétone et une pincée de carbonate de calcium.

La lecture se fait à deux logeur d'Ende 645 nm et 663 nm figure (15), le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce aux formules suivantes :

$$\text{Ch. a} = 12.7(\text{D.O663}) - 2.69(\text{D.O645}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Ch. b} = 22.9(\text{D.O645}) - 4.68(\text{D.O663}) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Ch. a} + \text{Ch.b} = 8.02(\text{DO645}) + 20, 20 (\text{DO663}) \dots\dots\dots (3)$$

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

Ch. (a) : Chlorophylle a ; Ch. (b) : Chlorophylle b ; Ch. (ab) : Chlorophylle a et b.



Figure 15 : Spectrophotométrie marque (zuzi).

2.5.2. Dosage de la proline

La méthode utilisée pour le dosage de la proline est celle de (Troll et Tindsley, 1955) , simplifiée, mise au point par (Dreier et Goring, 1974) et modifiée par (Monneveux et Nemmar, 1986).

2.5.2.1. Extraction de la proline

On pèse 100 mg de matière végétale fraîche, après les avoir coupés en petits Morceaux, on les introduits dans un tube à essai, auquel on ajoute 3ml de méthanol à 80% et on les recouvre de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool, l'ensemble est chauffé au bain-marie à 85°C pendant 60 minutes.

Après refroidissement des tubes à essai, on prélève 1ml d'extrait, auquel on ajoute 1ml d'acide acétique (CH₃COOH), 1ml d'un mélange contenant (120ml d'eau distillée, 300ml d'acide acétique, 80ml d'acide ortho phosphorique (H₃PO₄) et 25mg de ninhydrine (C₉H₆O₄). Les solutions sont portées à ébullition pendant 30 minutes, la couleur de cette dernière vire progressivement au rouge.

Après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène à la solution ; après agitation, deux phases se séparent :

- 1- La phase inférieure sans proline reste transparente
- 2- La phase supérieure colorée en rouge qui contient la proline.

Cette phase est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction d'anhydre (Na₂SO₄). Enfin, cette dernière est passée au spectrophotomètre à la longueur d'onde 528nm. L'étalonnage de l'appareil se fait par le mélange (acide acétique, eau distillée, acide Ortho phosphorique et ninhydrine) et les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe d'étalonnage. Le calcul des résultats du dosage est déterminé à partir de la formule suivante :

$$Y = 0.06468 X + 0.03695 \dots \dots \dots (1)$$

X= Densité optique

Y= Concentration en proline (µg/g)

2.6. Traitement des résultats statistiques

L'analyse des données des paramètres étudiés ainsi que le calcul des moyennes et la conception des graphiques sont réalisés à l'aide du tableur Excel 2013 pour Windows.

Afin de comparer les moyennes des différents paramètres mesurés chez les lichens, (concentrations en HAP, les poussières, la chlorophylle et la proline), nous avons appliqué le test paramétrique pour plusieurs échantillons indépendants qui est l'Analyse de la variance

(ANOVA). Ceci, après avoir vérifié que les distributions étaient normales et l'homogénéité des variances était respectée.

On a suivi une méthode statistique multivariée qui l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour l'étude des corrélations entre les différents paramètres biologiques et les conditions d'expositions et afin de déterminer des relations entre les variations des marqueurs biologiques et les paramètres d'exposition. Ceci était réalisé avec le logiciel R.

Pour réaliser la biosurveillance de la qualité de l'air à partir du lichen *Xanthoria parietina*, des prélèvements et des récoltes a été fait dans notre zone d'étude Réghaia industriel. Ainsi ce chapitre englobe la présentation de la zone d'étude et les paramètres climatique et tous les matériels et les techniques analytiques utilisés pour obtenir des résultats sur les HAPs, et les PM, et les paramètres physiologiques la chlorophylle et la proline.

Chapitre III :

Résultats et Discussion

Dans ce chapitre nous présentons tous les résultats obtenus concernant l'accumulation des HAPs atmosphériques et la quantité des poussières déposées sur le lichen *Xanthoria parietina*, ainsi que les paramètres physiologiques mesurés à savoir la chlorophylle et la proline.

Mais avant de passer à la présentation détaillée des résultats, nous allons d'abord donner un aperçu sur leur distribution générale.

1. Distribution générale des données

Dans le tableau 11, sont rassemblés les paramètres de position (moyenne, médiane, premier quartile, troisième quartile, minimum, maximum) et le seul paramètre de dispersion (Ecart-type).

Regardant les moyennes et les médianes, nous pouvons constater que les séries de certains paramètres (HAPs, PMs, Ch. (a), Ch. (ab)), sont symétrique et suivent la loi normale.

Ainsi, la concentration moyenne des HAPs (de 213,88 ng/g) est proche de la médiane de (223,1ng/g). Du même pour la concentration moyenne des PMs qui est de 24,48 µg/g, elle est proche de la médiane, qui est de 23,2 µg/g. Pareil pour la chlorophylle a, la valeur de la concentration moyenne de 12571,14ng/g, n'est pas très loin de la valeur médiane qui est de 11465 ng/g. La chlorophylle ab, montre une concentration moyenne (6341,42ng/g), un peu près proche de sa médiane (4168ng/g).

Tableau 11 : Présentation de quelques paramètres de position et de dispersion des résultats

ng/g	Moyenne	Médiane	Min	Max	1 ^{er} quartile	3 ^e quartile	Ecart type
HAPs	213,88	223,1	112,2	336,2	175,75	255,1	79,82
PMs	24,48	23,2	19,7	29	22,3	27,45	3,47
Ch. (a)	12571,14	11465	1616	23975	3403,5	22067,5	10039,22
Ch. (b)	80050	99,7	2109	12566	5331,5	10390	3778,84
Ch. (ab)	6341,42	4168	1061	13603	1950	10829	5315,43
Proline	16,14	41	37	75	39	46	13,20

Par contre, les autres paramètres (Ch. (b), Proline), les deux valeurs de la concentration moyenne et de la médiane montrent des différences importantes.

Ainsi, la valeur médiane de la série des données de la proline et qui est de 41 ng/g, présente presque le triple de sa valeur moyenne, qui est de 16,14 ng/g. Alors que la valeur de la concentration moyenne concernant la chlorophylle b, est 802 fois plus élevée que sa médiane.

En considérant les écart-types de chaque série, nous remarquons que les valeurs de certains paramètres (Ch.a, Ch.b, Ch.ab) sont très dispersées autour de leurs moyennes. Par contre les

données des trois autres séries, à savoir : la proline, les PMs et HAPs, sont moins dispersées autour de leurs moyennes.

2. Paramètre de pollution

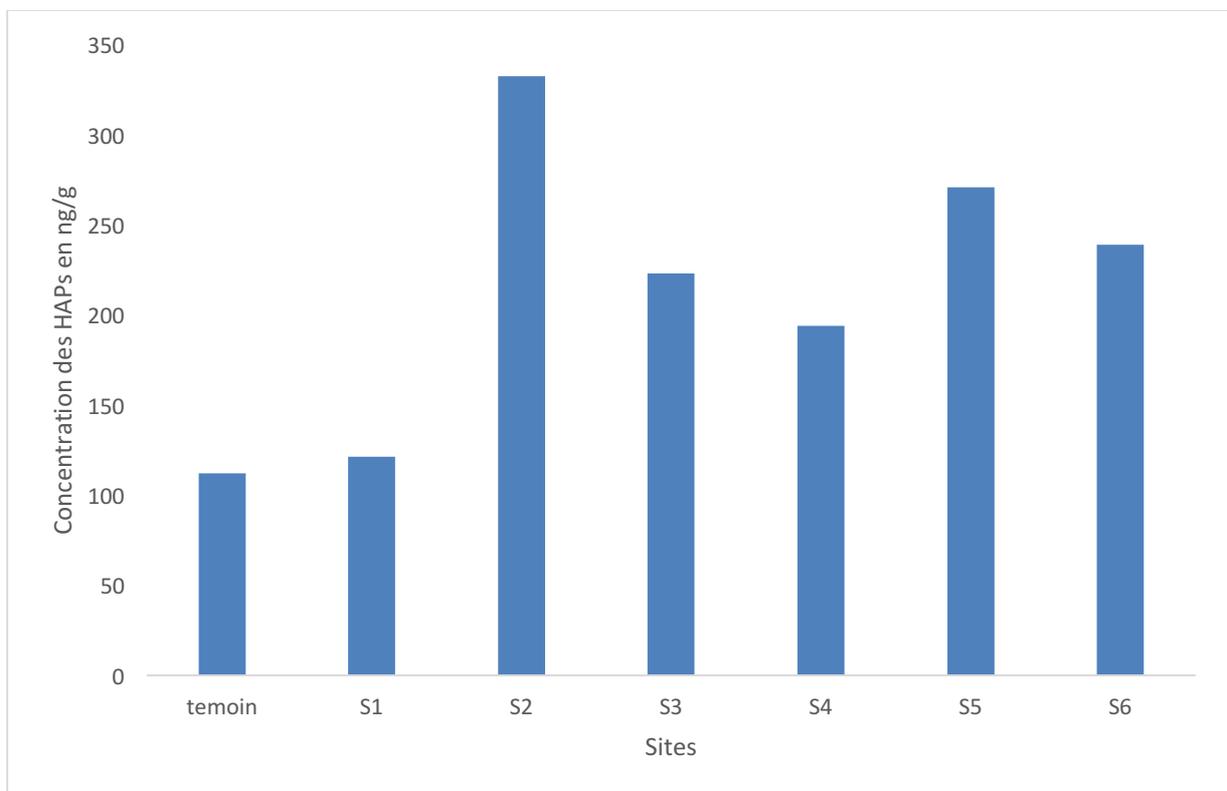
L'étude des paramètres de pollutions (les HAPs et les poussières) permet l'évaluation de la concentration de ces polluants accumulés par les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région industrielle de Réghaïa.

2.1. Concentrations des HAPs

La plupart de nos sites d'échantillonnage se situent près des unités industrielles qui dégagent des polluants atmosphériques organiques à savoir les HAPs. Pour quantifier les concentrations de ces HAP, on a opté comme expliqué dans la partie matériels et méthodes pour leur bioaccumulation dans *Xanthoria parietina*.

2.1.1. Concentrations des HAP selon les sites

À partir de l'histogramme en figure 16, on remarque que les concentrations des HAPs varient d'un site à l'autre. Ainsi la valeur la plus élevée et qui est de 330 ng/g, est enregistré dans le site S2. Cette valeur est le triple de la valeur témoin, qui est de (110 ng/g).



S : Site

Figure 16 : Concentration des HAPs Accumulé par le thalle *Xanthoria parietina* dans les sites (S1, S2, S3, S4, S5, S6) et le témoin.

La valeur minimale est notée dans le témoin (110 ng/g) suivi de celle calculée à S1 (121,4 ng/g), ensuite S4 (194,1 ng/g) et S5 (271 ng/g) et dernièrement S6 c'est une augmentation successive des concentrations des HAPs.

2.1.2. Concentrations des HAP selon les stations

Les résultats des échantillons regroupés dans les trois stations sont présentés dans la figure 17. L'histogramme est tracé en utilisant les concentrations moyennes des HAP (en ng/g de la matière fraîche) et les écart-types en barre d'erreurs.

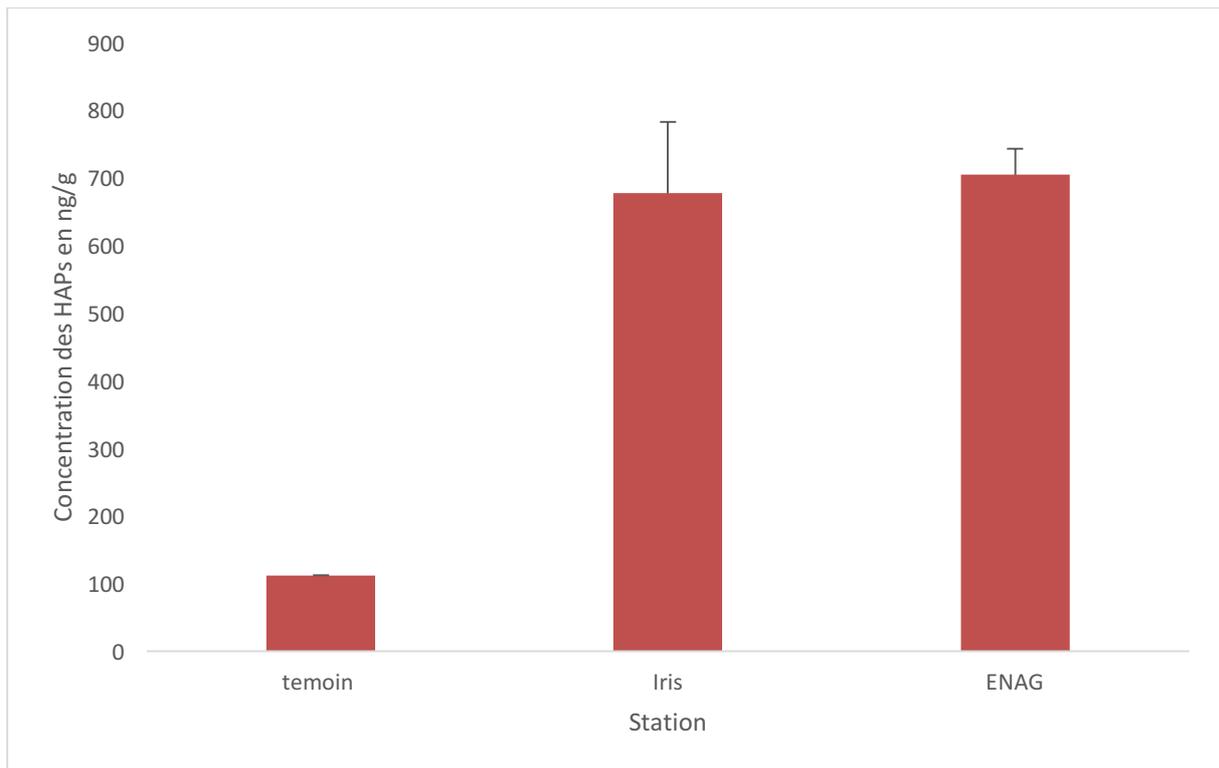


Figure 17 : Concentrations moyennes des HAPs accumulés par *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement de la région de Réghaïa (Juin 2021).

On note que la valeur maximale des HAPs et qui est de 700 ng/g, est enregistrée dans la station ENAG qui représente la station industrielle de notre étude. La valeur minimale de 112,2 ng/g, a été remarquée dans la station témoin. La station Iris indique une valeur importante des HAPs qui est (690 ng/g).

En appliquant l'ANOVA, sur les trois échantillons (stations), nous avons trouvé que la différence remarquée sur l'histogramme et qui existe entre le témoin et les deux autres stations (Iris et ENAG) est, statistiquement, non significative ($F=0.16$ et $p=0.9$) (tableau 12).

Tableau 12 : Résultats de l'ANOVA réalisée sur chaque paramètre pour les trois stations de l'étude.

Paramètres	F observe	Probabilité	F théorique
HAP	0,16	0,9	9,28
Poussières	0,15	0,91	19,16
Chlorophylle (a)	0,34	0,79	3,86
Chlorophylle (b)	2,03	0,18	3,86
Chlorophylle (ab)	4,68	0,03	4,066
Proline	0,37	0,77	3,86

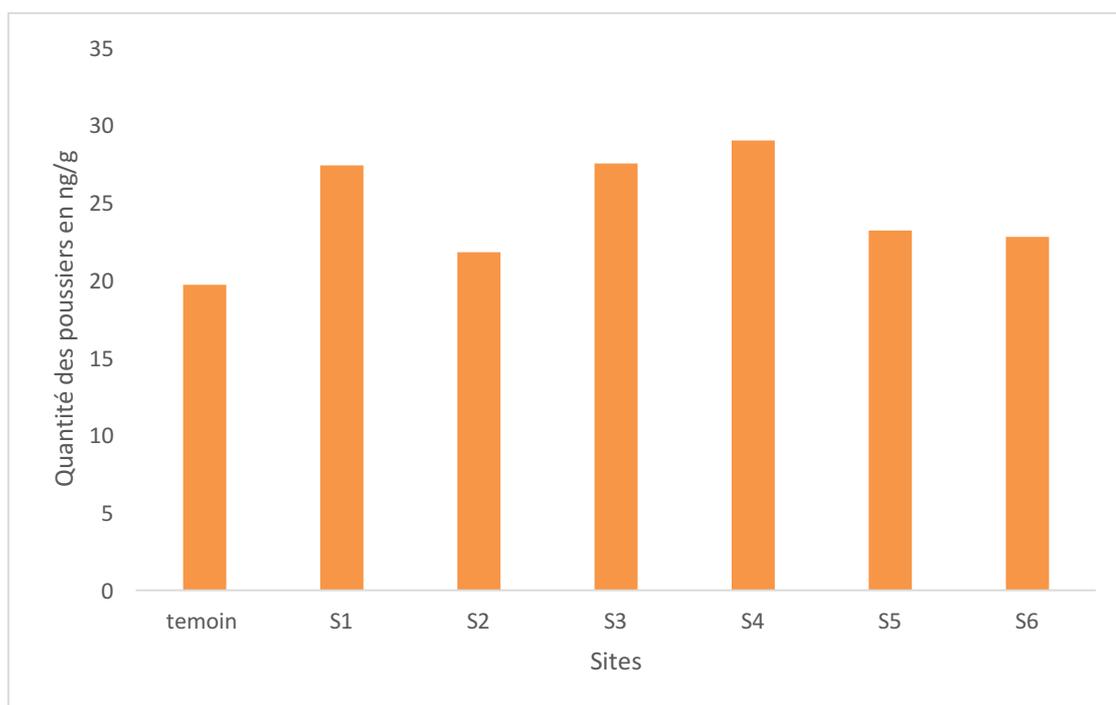
2.2. Quantités de poussières déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina*

Comme deuxième paramètre de pollution après les HAP, nous avons choisi les poussières déposées sur lichens.

2.2.1. Quantités de poussières déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina* selon les sites

La technique d'extraction des poussières a été réalisée sur les thalles de *Xanthoria parietina* à raison de trois répétitions pour chaque prélèvement et les résultats obtenus sont présentés dans la figure 18.

Les résultats des poussières déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina* illustrés dans la figure (18) montrent une légère variation selon les sites de prélèvements.



S: Site

Figure 18 : Quantités de poussières déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina* dans les sites (S1, S2, S3, S4, S5, S6 et le témoin).

On remarque que le témoin présente la valeur la plus basse (19,7 $\mu\text{g/g}$) suivi successivement par S2, S6, S5, S1, S3, S4), (21,8 ; 22,8 ; 23,2 ; 27,4 ; 27,5).

D'après l'histogramme, la quantité la plus élevée de (29 ng/g) est enregistrée dans le site S4. Les résultats des échantillons regroupés dans les stations sont présentés dans la figure.

2.2.2. Quantités de poussières déposées sur *Xanthoria parietina* selon les stations

Comme nous avons regroupé, les concentrations des HAPs mesurées sur des prélèvements, selon les stations d'échantillonnage, nous avons aussi calculé les concentrations moyennes des PM déposées sur les thalles de notre espèce. Avec ces moyennes et les écart types, nous avons tracé l'histogramme en figure 19.

Ainsi, nous avons constaté que la concentration la plus basse est enregistrée au niveau du témoin (19 µg/g). Cette moyenne représente presque le quart des deux autres moyennes (Iris et ENAG) et qui sont successivement de l'ordre de (75 µg/g et 76,7 µg/g).

Les petits écart-types confirment la conclusion tirée à partir des prélèvements et montrent que les différences entre les valeurs ne sont pas très importantes.

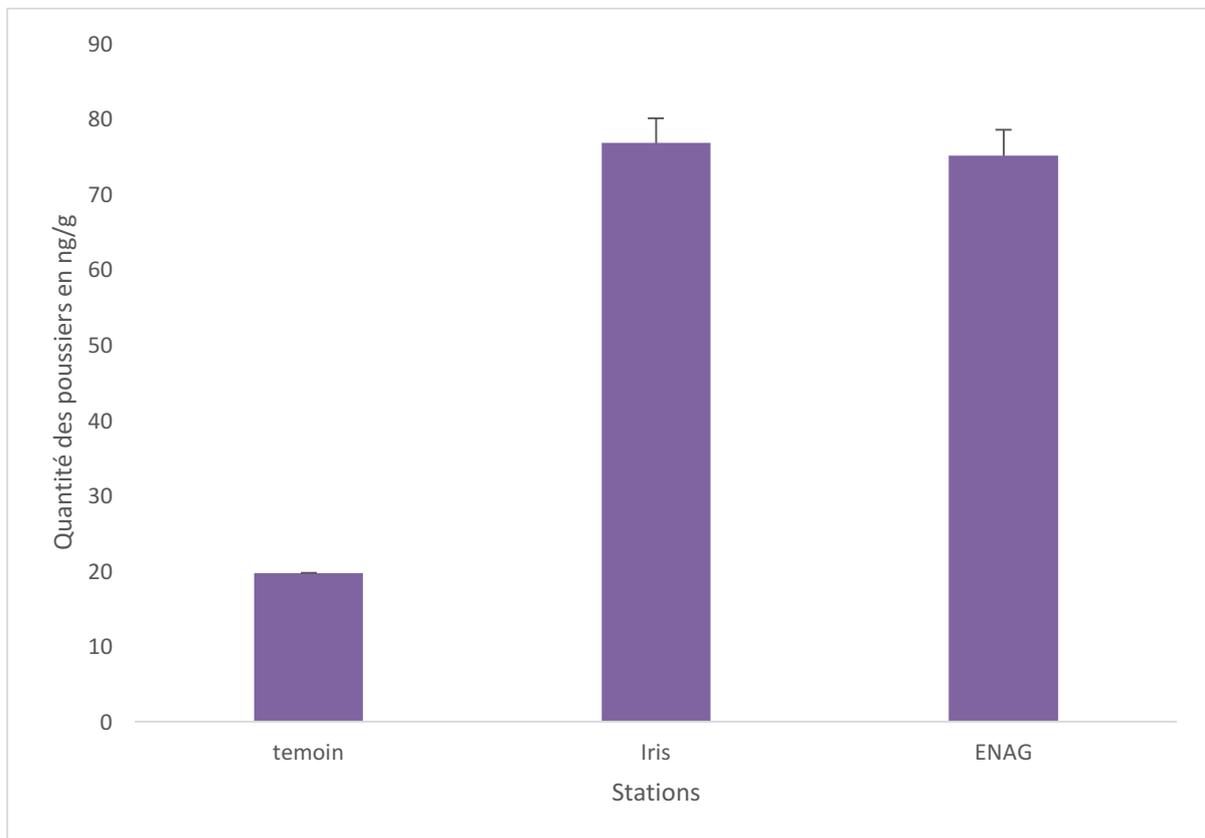


Figure 19 : Quantité des poussières déposées sur les thalles de *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement de la région industrielle de Reghaia (juin 2021).

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 12), montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les moyennes des trois stations (($F=0.15$ et $p\text{-value}=0.91$).

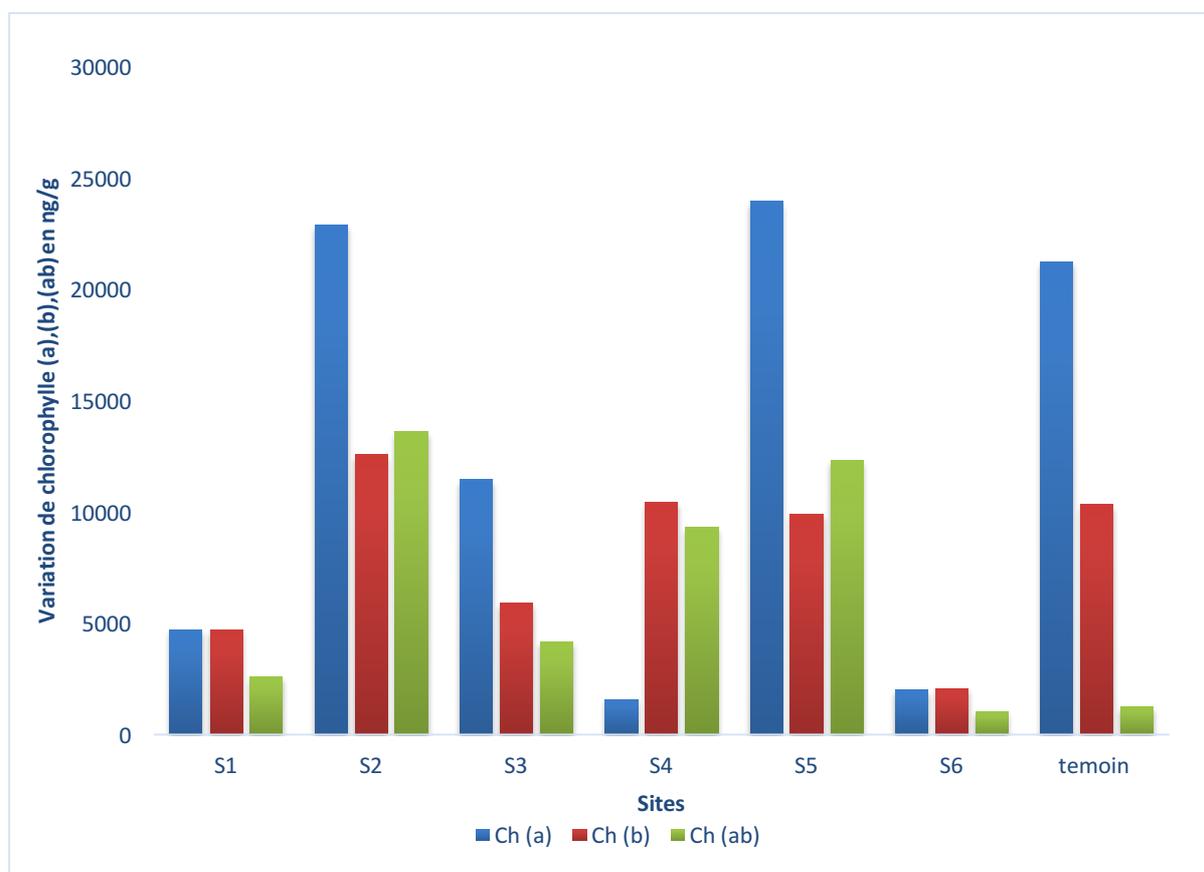
3. Paramètre physiologique

Pour connaître la relation des polluants accumulés (les HAPs et les poussières) et l'effet physiologique observable dans les thalles de *Xanthoria parietina*, nous avons réalisé des dosages de la chlorophylle (Ch. a, Ch. b et Ch. ab) et de la proline.

3.1. Dosage de la chlorophylle

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

Les résultats de dosage de la chlorophylle total effectuée sur les thalles de *Xanthoria parietina* sont présentés par le graphe de la figure 20.



S : Site

Ch : Chlorophylle

Figure 20 : Variation de la chlorophylle (a) et (b) et ch. (ab) en fonction des sites dans la région industrielle de Réghaïa (juin 2021).

D'après cette figure, nous remarquons que la quantité de la chlorophylle est variée selon les sites, le site S1 représente une valeur minimale de la chlorophylle de (5000 ng/g), le témoin à une valeur importante de la chlorophylle qui est (21000 ng/g). La valeur maximale est

enregistrée dans le site S5, qui appartient à la station industrielle de ENAG, elle est de 25000 ng/g.

3.1.1. Dosage de Chlorophylle a (Ch. a)

La figure 21, indique une variation de la chlorophylle (a) en fonctions des stations de prélèvement. On remarque des faibles teneurs en chlorophylle (a) au niveau des deux stations d'Iris et de ENAG, par apport au témoin.

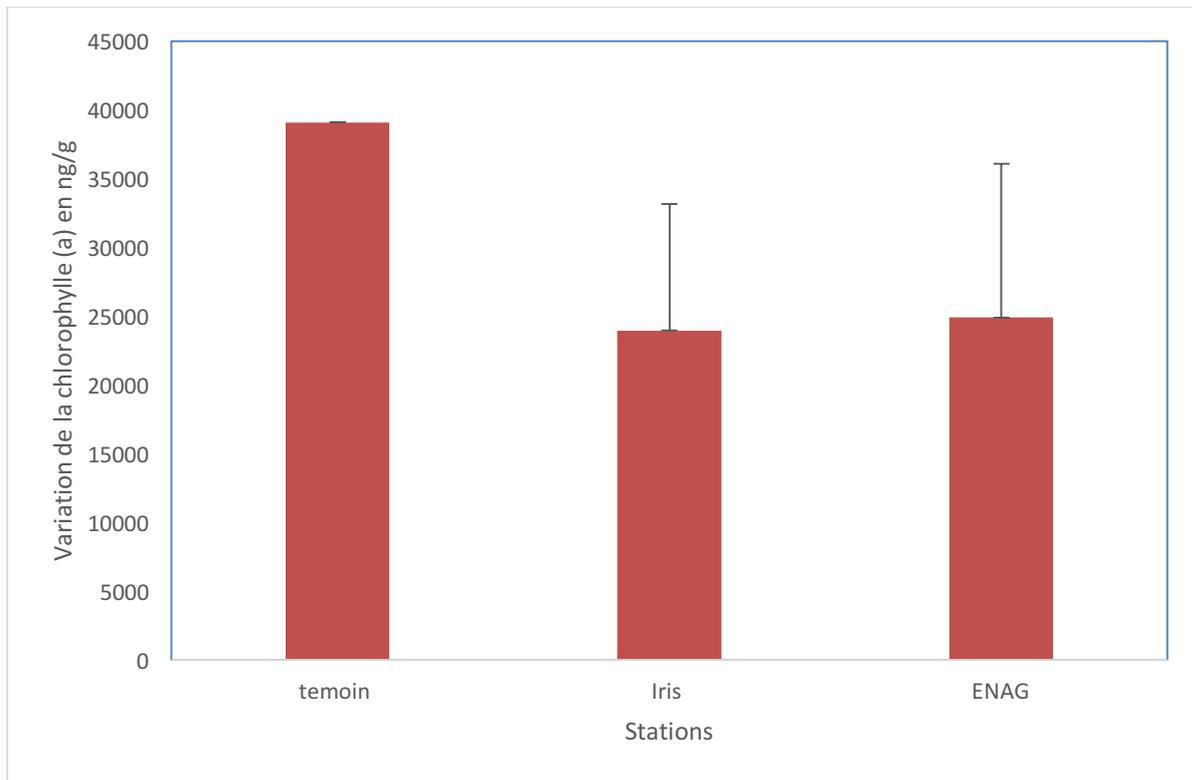


Figure 21 : Variation de la chlorophylle (a) chez *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvements dans la région de Reghaia (juin 2021).

Ainsi, la valeur maximale de (38000 ng/g) est représentée dans la station de témoin, la station qui représente la valeur la plus petite de (23000ng/g) est la station iris, ensuite la station ENAG de valeur de (25000 ng/g).

Sur le plan statistique, ces variations observées ne sont pas significatives. Ceci est prouvé par l'ANOVA appliquée à ce paramètre physiologique sur les trois échantillons (stations) et qui a donné la valeur probable de $p=0.79$, avec $F=0.34$ (tableau 12).

3.1.2. Dosage de chlorophylle b (Ch. b)

La **figure 22** représente les variations de la chlorophylle (b) dans les thalles de *Xanthoria parietina*.

D'après cette figure, il apparaît clairement que la teneur en chlorophylle (b) varie en fonction des stations de prélèvement.

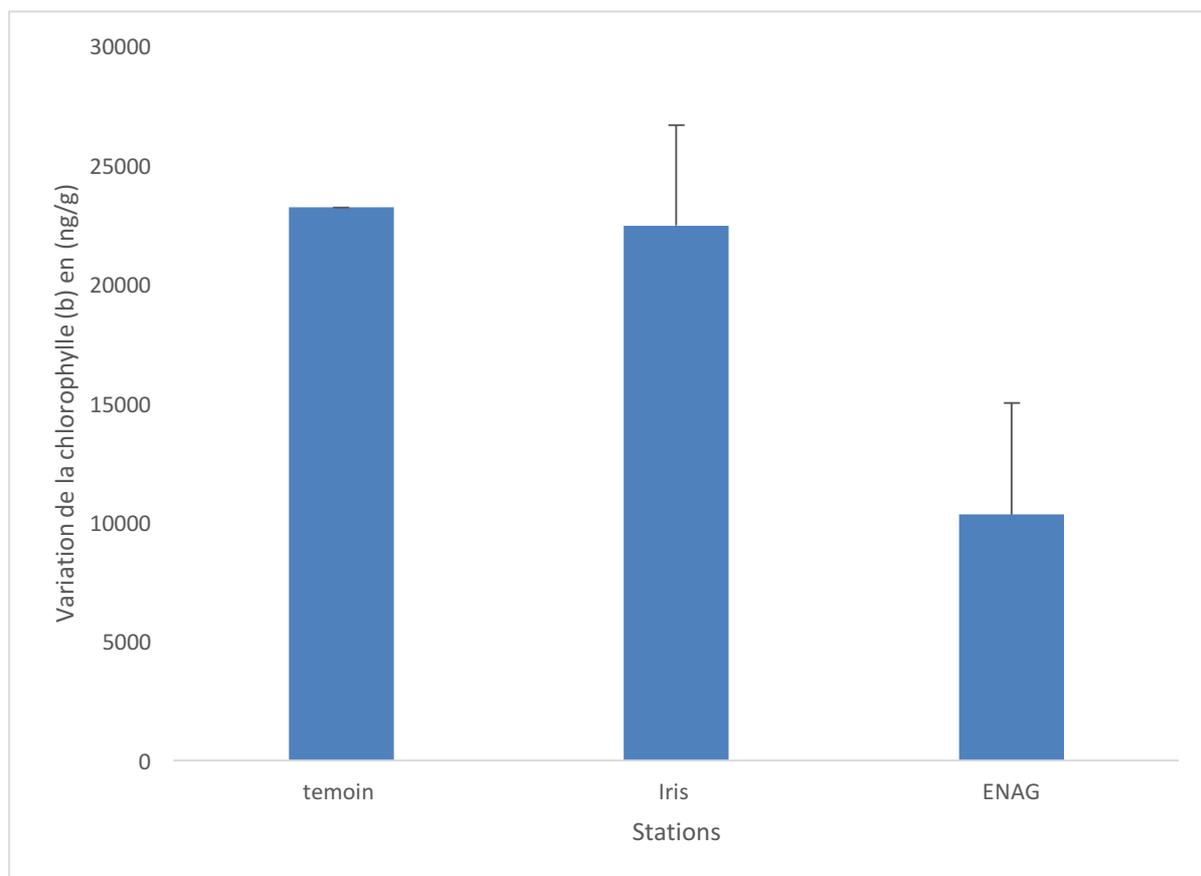


Figure 22 : Variation de la chlorophylle (b) chez *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement de la région de Reghaia (juin 2021).

Nous avons constaté que la valeur minimale de (10000ng/g) de la chlorophylle (b) est enregistré au niveau de station ENAG qui est proche de l'industrie, tandis que la valeur maximale de (23000 ng/g) est observée à la station (Témoin). La station (Iris) a marqué une valeur de la chlorophylle (b) proche de celle de témoin (22467 ng/g).

Le résultat de l'ANOVA ($F=2.08$ et $p=0.18$) appliquée sur les données de ces trois séries statistiques (stations) et qui figure dans le tableau 12, infirme l'existence de la différence entre les trois moyennes calculées.

3.1.3. Dosage de chlorophylle ab (Ch. ab)

D'après la figure 23, les résultats obtenus à partir de dosage de la chlorophylle (ab), indiquent des variations bien distinctes entre les stations. Ainsi la valeur maximale, de (22000 ng/g) est enregistrée dans la station de témoin présente le triple de la valeur minimale (7000ng/g) enregistrée dans la station ENAG. La station d'Iris affiche une valeur intermédiaire de 14000 ng/g.

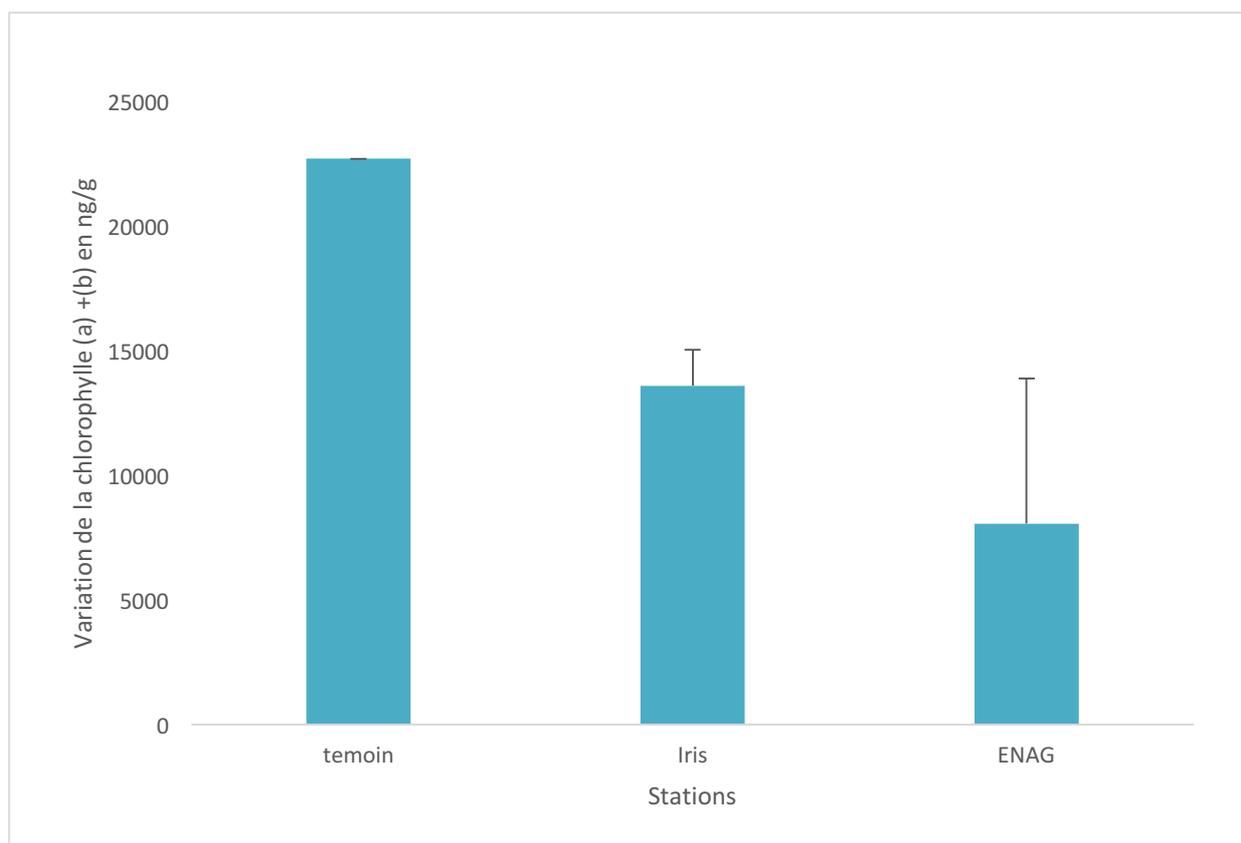


Figure 23 : Variation de la chlorophylle (ab) dans les thalles de *Xanthoria parietina* en fonctions des stations (Juin, 2021).

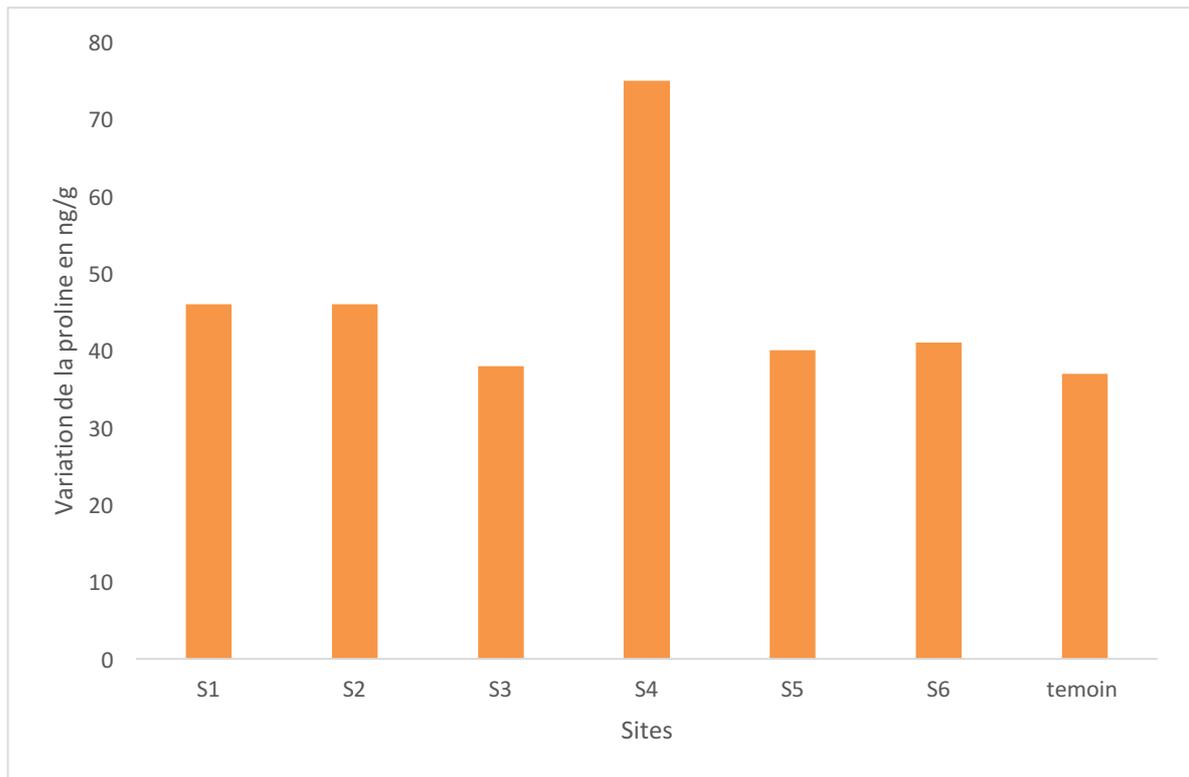
L'ANOVA a donné des différences significatives ($p=0.03$ et $F=4.58$), pour la chlorophylle (ab) entre les stations.

3.2. Dosage de la proline

Les résultats du dosage de la proline chez *Xanthoria parietina* (figure 24) montrent des variations selon les sites de prélèvement.

Nous observons une augmentation de la proline dans tous les sites (S1-S6). La valeur la plus élevée est enregistré au niveau le site S4 de (73 ng/g). Nous pouvons noter aussi que le témoin montre une valeur stable de (37ng/g) et qui est la valeur la plus faible. Les autres sites enregistrent des valeurs qui varient entre (38 ng/g et 48 ng/g).

Les résultats des échantillons regroupés dans des stations sont présentés dans la figure 24. Elle illustre les variations du taux de proline chez *Xanthoria parietina* au niveau de nos stations d'étude.



S : Site

Figure 24 : Variation de teneurs en proline chez *Xanthoria parietina* en fonction des sites prélèvement dans la région de Réghaïa (juin 2021).

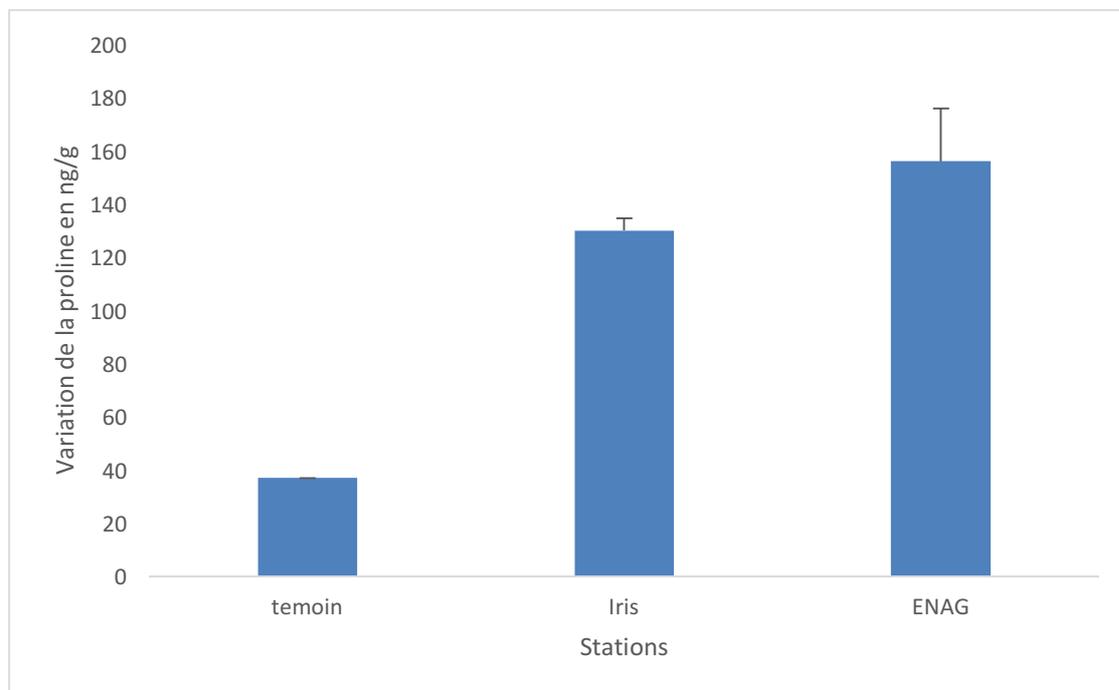


Figure 25 : Variation de la teneur en proline chez *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement dans la région de Reghaïa (juin, 2021).

D'après la figure 25, la quantité la plus élevée de la proline est enregistrée dans la station de ENAG d'une valeur de (150 ng/g). Cette valeur est plus que le triple de la valeur minimale enregistrée dans la station de témoin (37 ng/g). Comme pour la chlorophylle, la station d'Iris présente une valeur moyenne de proline proche de celle de la station (ENAG) et qui est de 130 ng/g.

Ces différences observées sur le graphe, sont infirmées par l'ANOVA qui donne la valeur $F=0.37$ et la valeur $p=0.77$, mentionnées dans le tableau 12.

4. Analyse en Composante Principale (ACP)

L'analyse des composantes principales a été effectuée sur les 4 stations d'étude pour tous les éléments étudiés. Cela pour mettre une évidence les relations existantes entre les variables (Ch. a, Ch. b, Ch. ab, Proline, HAP, PM) à l'aide du cercle de corrélation.

Les deux premières composantes portent 72,62 % de la variation totale présentée par les différentes composantes de l'ACP réalisée sur nos résultats. On peut donc choisir de réduire l'espace à ces 2 premières composantes.

La représentation graphique, en figure 26, de nos résultats sur l'ACP a permis de visualiser la proximité entre les individus et a permis de mettre en évidence des corrélations entre les variables.

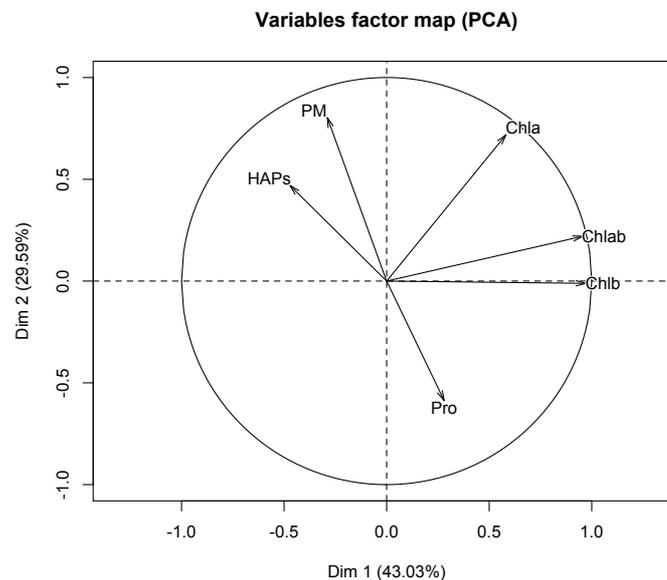
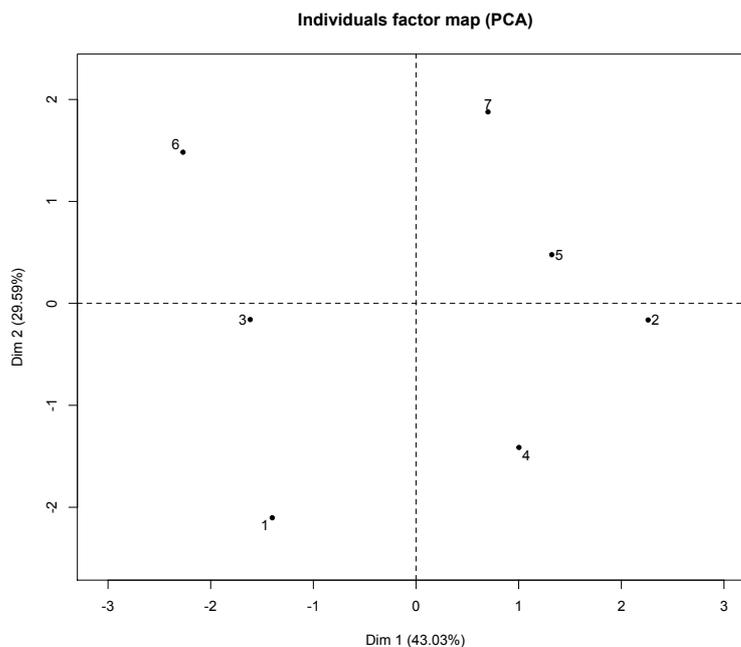


Figure 26 : Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesuré sur les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région de Reghaia (Juin 2021).

4.1. Proximité entre les individus

Les individus sur le cercles représentent les sites d'échantillonnage. La figure 19, montre que le site 2 et le site 4 sont proches. Donc ces deux sites partagent les mêmes informations par rapport aux différents paramètres étudiés.

Aussi le site 1 et le site 3 figurent dans le même carré. Donc ils partagent plus d'informations entre eux qu'avec les autres.



Du Même pour le site 5 et 7 partagent plus d'informations entre eux qu'avec la suite des sites, ce qui est indiqué par leur proximité sur le même graphe.

Il n'y a que le site 6 qui ne partage pas d'informations avec les autres.

4.2. Variation entre les variables

Les résultats de corrélation ont montré que les paramètres physiologiques de chlorophylle présentent des corrélations positives entre eux. Ainsi, on a noté une corrélation positive entre Chla et Chlb avec un coefficient de corrélation de $r=0.65$ et $p\text{-value}=0.011$. Une autre corrélation positive est enregistrée entre Chla et Chlb avec $r=0.49$, $p=0.29$. Par contre on a obtenu une corrélation négative entre Chla et pro ($r= -0.14$, $p=0.075$).

Comme on a enregistré d'autres corrélations mais moins significatives et qui sont regroupées dans le tableau 4. On a enregistré les facteurs de corrélation, accompagnés de leurs p-values, suivants : $r=0.28$, $p=0.54$ entre Chlb et pro et $r=0.08$, $p=0.86$ entre Chlab et Pro.

De leur part, les paramètres de pollution (HAPs avec PMs) montrent une corrélation positive de l'ordre de $r=0,35$ et $p=0,04$.

Tableau 13 : Corrélation entre les paramètres de pollutions est les paramètres physiologiques

Variables	HAPs	PMs	Chla	Chlb	Chlab	Pro
HAPs	1	0,35(0,04)*	0,06(0,89)	-0,35(0,04)*	-0,31(0,5)	-0,17(0,71)
PMs		1	0,38(0,40)	-0,31(0,50)	-0,12(0,80)	-0,35(0,43)
Chla		(0,40)	1	0,49(0,26)	0,65(0,11)	-0,14(0,75)
Chlb				1	0,96***	0,28 (0,54)
Chlab					1	0,08(0,86)
Pro						1

En général, les paramètres physiologiques montrent des variations inverses avec celles des paramètres de pollution. Ce qui confirme l'effet nocif de la pollution sur les lichens dans notre région d'étude.

Cette partie englobe des résultats détaillés des paramètres de pollution les HAPs et PM aussi des paramètres physiologique chla, chlb, chlab, et la proline dans la zone industrielle Reghaia. Différents variations remarquables sur la quantité des variables étudiés qui illustre sur les représentations graphiques précédentes.

5. Discussion

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir l'étude de bioaccumulation des HAPs et les PMs par les thalles de *Xanthoria parietina* dans la région industrielle de Réghaia, et d'après les observations de l'évaluation des polluants dans toutes les stations de prélèvements (Iris, ENAG).

On a démontré que la valeur la plus élevée des HAPs de (700ng/g) est enregistré aux niveaux de la station les ENAG, c'est une zone de prélèvement caractérisé par sa proximité de l'entreprise national des arts graphique est la grande entreprise de pétrole elle située entre les deux, on a enregistré des tenures importants des HAPs dans la station iris c'est une station urbanisée

Les des HAPs accumulées par *Xanthoria Parietina* sont globalement compris entre (100 et 700 ng/g). Nos résultats rejoignent ceux de **Vitali et al, (2019)** **Augusto et al, (2010)** qui ont trouvé des teneurs respectivement entre (167,3 et 256,3 ng/g).

On constate que les tenures en HAPs chez *Xanthoria parietina* augmentent fortement avec la proximité de la zone industrielle, comme cela est toujours relevé dans l'ensemble des travaux sur les lichens (**Ratier, 2015, Dron et al, 2016, Ratier et al, 2018**).

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 aux niveaux des stations les iris et ENAG en raison de sa proximité de l'entreprise nationale des arts graphiques et la grande entreprise nationale de pétrole, les valeurs des PMs varient entre (20ng/g et ,80ng/g).

Les résultats montrent que le lichen *Xanthoria parietina* est influencé par l'environnement du site (industrie au urbain).

La bioaccumulation seraient dus aux particularités physiologiques des lichens qui ont la capacité de stocker les contaminants dans leurs tissus (**Conti et Cecchetti, 2001**), pour cela ils sont utilisés pour la mesure intégrée de la concentration des contaminants dans l'environnement.

Les plantes sont soumises à des perturbations et des altérations de l'état physiologique, causées par des conditions défavorables de l'environnement, Pour cela on a étudié les paramètres physiologiques (chlorophylle a, b, ab) et la proline.

La quantification de la chlorophylle est largement utilisée pour évaluer l'état des échantillons et fournir une indication précoce du stress physiologique (**Maxwelle et Jonson, 2000**), (**Ramade, 2007**).

Les teneurs les plus élevées de la chlorophylle (a, b, ab) sont enregistrées aux niveaux de la station de témoin est varient entre (22000 ng/g et 38000 ng/g), les autres stations industrielles est urbains on observe des valeurs plus au moins faibles de chlorophylle.

Le taux de la chlorophylle diminué avec l'augmentation des polluants (HAPs et les PMs).

Kershaw (1985) ; Zambrano et Nash III; 2000, ont montré que l'exposition des lichens aux polluants dans les régions urbains et industrielles cause les déchéances de la chlorophylle des lichens, alors que Renaud *et al*, 1998 ; Tretiach *et al*, 2007 suggèrent que les plantes soumises à la pollution atmosphérique présentent des changements du taux des chlorophylles et ce qui confirme nos résultats.

Les lichens sont particulièrement exposés à la pollution et ils en subissent les effets (diminution de l'activité photosynthétique, modification des voies métaboliques, etc.). (**Bauwens, 2003**)

Concernant la quantité de la proline on a constaté que les valeurs enregistrées aux niveaux des stations sont faibles varient entre (40 ng/g et 150 ng/g), la teneur de proline augmente avec l'augmentation de la pollution.

L'élévation de la proline au niveau des stations de prélèvements est due à une contrainte environnementale. Effectivement, cet acide aminé est synthétisé lorsque le végétal est en stress en appliquant par conséquent une perturbation de son métabolisme, et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de résistance des plantes aux contraintes abiotiques (**Delauney et Verma., 1993 cité par Dallaa., 2012 et Bouchoukh., 2010**)

L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par les plantes face aux contraintes de l'environnement (**Belkhodja et Benkabila, 2000**).

Alors que (**Lagadic et al, 1997**) affirment qu'une augmentation de la proline peut être observée si les plantes sont soumises aux stress oxydative crée par la pollution atmosphérique. Selon (**Monneveux et Nemmar, 1986**), l'accumulation de proline est associée à la résistance de la plante au stress, ce qui pourrait donc être l'un des facteurs qui expliquent le mieux la stratégie d'adaptation des plantes.

Conclusion générale

Conclusion générale

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. 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 par des espèces lichéniques (*Xanthoria parietina*) ou les polluants atmosphériques émis de diverses sources (trafic routier, industries, etc...)

Dans ce contexte, notre étude a été menée sur 3 stations dans la région industrielle de Reghaia, 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 morphologiques et physiologiques du végétal. Pour cette raison on a quantifié les paramètres physiologiques dont la chlorophylle (a) et la Chlorophylle (b) et Chlorophylle (ab) et la proline.

En effet, on a enregistré une variation pour chaque paramètre étudié les principaux résultats sont :

Généralement, la teneur en chlorophylle chez le bio indicateur (*Xanthoria parietina*) ont tendance à diminuer dans les sites fortement pollués à cause de la perturbation du processus photosynthétique. Alors que la teneur en proline a tendance à augmenter à cause de l'équilibre métabolique perturbé de celle-ci par les conditions défavorables du milieu.

Cependant, la variation des teneurs restent 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.

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

Au cours des travaux réalisés pour l'obtention de ces résultats. Plusieurs obstacles ont été rencontrés surtout sur le plan matériel ainsi que pour le temps court qui a été accordé ce qui n'a pas permis de travailler dans de bonnes conditions.

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'autre régions pourquoi pas d'autre 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.
- En fin, il est insuffisant de quantifier les HAPs et les poussières, pour cette raison, on propose de faire leur caractérisation chimique.

Références bibliographiques

A

Agnan Y. (2013). Bioaccumulation et bio indication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passé en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteur d'influence. Thèse de doctorat, l'Université de Toulouse, INP Toulouse, Biogéochimie de l'environnement, France, 37p.

Aubert.S, Juge.C, Boisson.A.M, Gout.E,B et Ligny.R, (2007). Metabolic processes taining The reviviscence of lichen Xanthoria elegans (Link)in high mountain environments. *Planta*2007,226 :1287-126.

Accardi-Dey, A. et Gschwend, P.M. (2002). "Assessing the Combined Roles of Natural Organic Matter and Black Carbon as Sorbents in Sediments." *Environmental Science and Technology*. 36: 21-29.

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

Ait Hammou M. (2015). Analyses taxinomique et écologique des lichens de la région de Tiaret. Thèse de doctorat, option écologie, faculté de la science de la nature et de la vie Département de biologie. Université d'Oran, 326p. **ASPA : Au service de la qualité de l'air. (2005).** Report' air d'alsace la bio-surveillance. N° 8, N°ISSN 1772-337X, 7p.

Aubert. S, Juge. C, Boisson. A.M, Gout. E, Bligny. R, (2007). Metabolic processes sustaining the reviviscence of lichen Xanthoria elegans (Link) in high mountain environments .*Planta* 2007, 226: 1287-1297.

B

BOUZIANE M, (2006). Etude physicochimique de l'accumulation de métaux lourd par les lichens Lille, Thèse de doctorat Université de Science et Technologie de Lille. 173p.

BELHADJ, H et MOUDJAH B, (2015). Détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen Xanthoria parentina (L.) bioaccumulation d'éléments traces métalliques dans le centre Urbain de la ville se Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale). Thèse de doctorat Université Djilali liables de sidi BELABBES, 130P.

Références Bibliographiques

BELLENFANT et al. , (2010). Les lichens une symoise exemplaire Rev . Sci Bourgogne nature, 38p.

Binkova, B., Lewtas, J., Miskova, I., Rossner, P., Cerna, M., Mrackova, G., Peterkova, K., Mumford, J., Meyer, S. et Sram, R. (1996). "Biomarker studies in northern Bohemia." Environmental Health Perspectives. 104p.

BORIE A., (2006). La pollution atmosphérique et santé : les sujets à risque en limousin, états des lieux des attentes locales pour une information plus ciblée. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, 197p.

Boussekine, N. (2011). Contribution de la nanofiltration au traitement des eaux du lac de Réghaia –Elimination des métaux lourds- . Magister en génie des procédés. Université Houari Boumediene ,74p.

Bourcereau L., (2008). Accumulation des hydrocarbures Aromatique polycycliques (HAP) dans les sédiments de la rivière Doubs. Rapport Final. Université De France Comité, 55P.

Bugni .T .S, Andjelic .C.D, biologically active components of a Papua New Guinea analgesic and anti-inflammatory lichen preparation. Fitoterapia. 80(5), 270-273.

C

Casale R., (2006). Biosurveillance de la qualité de l'aire dans la région d'Ajaccio mise en œuvre de quelque protocole et d'Operations de communication, Mémoire de stage, Corse Pascal Paoli, 39P.

CUNY D, (2012). Journée scientifique bi-académique Académie nationale de Pharmacie et Académie de Technologie « Qualité de l'aire : de l'échelle locale à l'échelle planétaire Compréhension –implication ».

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

Chefetz, B., Deshmukh, A.P., Hatcher, P.G. et Guthrie, E.A. (2000). "Pyrene Sorption by Natural Organic Matter." Environmental Science and Technology. 34: 2925-2930.

CREPSO, A. présence et sources des HAPs dans le bassin d'Arcachon (En ligne). These de doctorat : Géochimie et écotoxicologie. Bordeaux : Université Bordeaux 1, 2009, 458p.

D

Références Bibliographiques

Dusserre G, Cabridenc R, Le Cloirec P (1998). Ecotoxicologie Des Cov. In: P. Le Cloirec ed. Les Composés Organiques Volatils (COV) Dans L'environnement Lavoisier tec et doc.

DORINE D, (2011). Contamination atmosphériques Par les hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP) Toxicité et devenir du phénanthrène dans des systèmes sol-plante – microorganismes .Thèse doctorat Université de Franche Comté. 124P

DGAC : direction générale de la pollution de l'avion civil (2004). Aide-mémoire : pollution atmosphérique et aviation, 56p.

Dimo I. [et al.] Studying the sensitivity of pollutants' concentrations caused by variations of chemical rates [Revue] // Journal of Computational and Applied Mathematics. - 2010. - Vol. 235. - pp. 391-402

F

FABURE J., (2009). Etude de l'accumulation et des effets du composé organique volatil (BTEX) chez les bryophytes. Lille Nord de France. Thèse de doctorat université de Lille Nord de France. 295p

Florent .O, Marie. A .C, Inès .D, Annabelle .D, Stéphanie. Q, Damien. C, Pollution atmosphérique N° 220 – 2013.

G

Garrec J-P& Van Haluwyn C,(2002). Biosurveillance végétale de la qualité de l'aire Tech&Doc., Lavoisier .118p.

Garty J. (2001). Biomonitoring atmosphéric heavy metal with lichens: theory and application. Critical Reviews in plant Sciences 20 :309-371.

Ghennam K., 2011. Les lichens dans l'Algérois etude de leur biodiversité et bio surveillance par SIG de la qualité de l'air. These de Magister.USTHB. Alger. 80p.

Gombert ,S. Asta J. Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Isère, southeast France) .Seaward M.R.D. Ecological indicators 2006. 6 : 429-443.

Gioia R, Steinnes E, Thomas GO, Meijer SN, Jones KC. (2006). Persistent Organic Pollutants in European Background Air: Derivation of Temporal and Latitudinal Trends. Journal of Environmental Monitoring 8(7): 700-710

H

Références Bibliographiques

Hylland, K. (2006). "Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) ecotoxicology in marine ecosystems." *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A.* 69: 109-123.

Honegger, R, Zippler, U, Scherrer, S, Dyer, P.S, Genetic diversity in *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. (lichen-forming ascomycete) from worldwide locations. *The Lichénologist* 2004, 36 (6), 381-390.

Hafner WD, Carlson DL, Hites RA. (2005). Influence of Local Human Population on Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations. *Environmental Science & Technology* 39(19): 7374-7379

I

INERIS (2005). "Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques". <http://www.ineris.fr> Site consulté le : 31 octobre 2006.

J

Joulain D. et Tabacchi R., Lichen extracts as raw materials in perfumery. *Flavor and fragrance journal* 2009. 24(2) : 49-61

K

Karagöz .A, Dođruöz. N, Zeybek. Z, Aslan. A, Antibacterial Activity of some lichen extracts. *Journal of medicinal plants research* 2009. 3(12), 1034-1039

KUNZLI N., JERETT M., MACK WJ. BECHERMAN B., LABREE L., GILLILAND F., THOMASD. PETERS J., HODIS H.N. (2005). Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles, *Environ Health Perspect.*

KHELLOUL F. (2011). Les ANTIDES Du lac de Réghaia phénologie du peuplement et statut des Espèces. Magister en sciences agronomique, Ecole nationale supérieure agronomique.

L

Lange O.L, Grenn.T.G. Heber. , Hydration-dependent photosynthetic Production of lichens : what do laboratory studies tell us about field performance ? *Journal of Experimental Botany* 2001, 52(363), 2033-2042.

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 7 Denis Diderot, 21

Références Bibliographiques

Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C. (1997). Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. In Lagadic L., Caquet T., Amiard J-C., Ramade F. Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Masson. Paris. 1-9.

Lindblom. L, Ekman. S, Genetic variation and population differentiation in the lichen forming ascomycete *Xanthoria parietina* on the island Storfosna, central Norway. *Molecular Ecology* 2006, 15 (6), 1545–1559.

M

MAATOUG M., HELLAL B., DELLAL A., AYAD N., 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, 393 p.

Mitrović. T, Stamenković. S, Cvetković. V, Tosić. S, Stanković. M, Radojević. I, Stefanović. O, Čomić. L, Đaćić. D, Ćurčić. M, Marković. S, Antioxidant, Antimicrobial and Antiproliferative Activities of Five Lichen Species. *International Journal of Molecular Sciences* 2011, 12: 5428-5448

Mouaici K. (2002). Etude de quelque source de polluants atmosphériques dans la region de béjaia. Rapport de fin de cycle, Abdurrahman Mira – de Bejaia, 49 P.

MARÇAIS, J. transferts des polluants organiques persistants de l’atmosphère aux milieux aquatiques de montagne (en ligne). These de doctorat : Chimie. Grenoble: UniversitéAlpes, 2017, 243p.

Mayer H. Air pollution in cities [Revue] // *Atmospheric Environment*. - 1999. - Vol. 33. - pp. 4029-4037.

MERLEN R. (2015). La biosurveillance : outil de surveillance de l’impact sur l’environnement des émissions atmosphériques industrielles et d’évaluation des risques sanitaires. N° 226, ISSN : 2268-3798, 17p.

Meier. F.A, Scherrer .S, Honegger. R, Faecal pellets of lichenivorous mites contain viable cells of the lichen-forming ascomycete *Xanthoria parietina* and its green algal photobiont. *Trebouxia arboricola*. *Biological Journal of the Linnean Society* 2002. 76 (2), 259-26.

N

Nimis, P. et Clauzade G., 1970. Les lichens etude biologique et flore illustrée. Edi Masson cie. Paris, 801P.

Références Bibliographiques

Nybakken.L, sothoug.K.A, Bilger.W, Gauslaa.y, The lichens *Xanthoria elegans* and *Cetraria islandica*.maintaina high protectioagainat.UV-Bradiation in Arctic habitat. *Oecologia* 2004, 140:211-216.

Nielsen, T., Jorgensen, H. E., Larsen, J. C. et Poulsen, M. (1996). "City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbon and other mutagens: occurrence, source and health effects." *Science of the Total Environment*. 189/190: 41-49

P

Petry, T., Schmid, P. et Schlatter, C. (1996). "The use of toxic equivalency factors in assesing occupational and environmental health risk associated with exposure to airborne mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)." *Chemosphere*. 32: 639-648.

Pédro G. (2007). *Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux*. EDP Sciences. 484 p.4

Podterob. A. P, Chemical composition of lichens and their medical applications. *Pharmaceutical Chemistry Journal* 2008, 42 (10), 582-588

PHILIPPE A. (2011). *Climat et pollution*. In : *L'air L'eau L'énergie La pollution LA VIE !*. 1er édition, Hermann, Paris, p. 52- 77.

POPE C.A 3rd. DOCHERY D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc*. 2006; 56(6):709-42 p.

R

Ratier et al., (2018). Bioaccumulation de polluants dans les lichens : Étude des effets saisonniers, de l'incertitude liée au prélèvement et comparaison de deux espèces. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions. 48 p.

Rauch J. N., Pacyna J. M. (2009). Earth's global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles. *Global Biogeochemical Cycles* 23 :16 pp.

RAHAL F ,(2015). Modélisation et simulation de la pollution atmospherique le cas de la région d'Alger. Thèse de doctorat en sciences. Université d'Oron,126p.

RAHALI M., (2003). Etude de la pollution plombique et globale dans la région d'Alger, en utilisant les lichens comme indicateurs biologique. Thèse de doctorat d'Etat. INA, Alger, 302p.

REBOUH S. (2012). Impact de la pollution de l'air provoqué par la cimenterie TAHAR DJOUAD sur la santé publique et le cadre bita cas de HAMMA BOUZIANE. Mémoire de magister, Constantine, 165p

S

Références Bibliographiques

Semadi A., 1989 effet de la pollution atmosphérique sur la végétation dans la région d'Annaba, Thèse de doctorat d'Etat. P et M.C. Paris VI.

Smith. C.W, Aptroot. A, Coppins. B.J, Fletcher. A, Gilbert. O.L, James. P.W, Wolseley. P.A, The lichens of Great Britain and Ireland. The British Lichen Society 2009, 1046 p.

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

V

VENDEL, F. Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels. Thèse de doctorat : Mécanique. Lyon : Université de Lyon, 2011, 367p.

W

Wilson, S.C. et Jones, K.C. (1993). "Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) : a review." Environmental Pollution. 81: 229 - 249.

Wahyuono. S, Sudarson .O, The purity test of the major compound isolated from the green and yellow kayangin (usneasp). Majalahfarmasi Indonesia 1995. 6(1), 1-7

Wild E, Dent J, Thomas GO, Jones KC. (2006). Visualizing the Air-to-Leaf Transfer and within-Leaf Movement and Distribution of Phenanthrene: Further Studies Utilizing Two-Photon Excitation Microscopy. Environmental Science & Technology 40(3): 907-9

Z

Zhang ZH, Rengel Z, Meney K. (2010). Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Differentially Influence Growth of Various Emergent Wetland Species. Journal of Hazardous Materials 182(1-3): 689-695. Zhu

Sites:

www.meteoblue.com

<http://lichnologue.org/fr>

Annexe 1: photo de *Xanthoria parietina*



Annexe 2 : Zone de Prélèvement lichénologique de *Xanthoria parietina*



Annexe 3 : Appareille GPS de la faculté de Mohammed bougera.

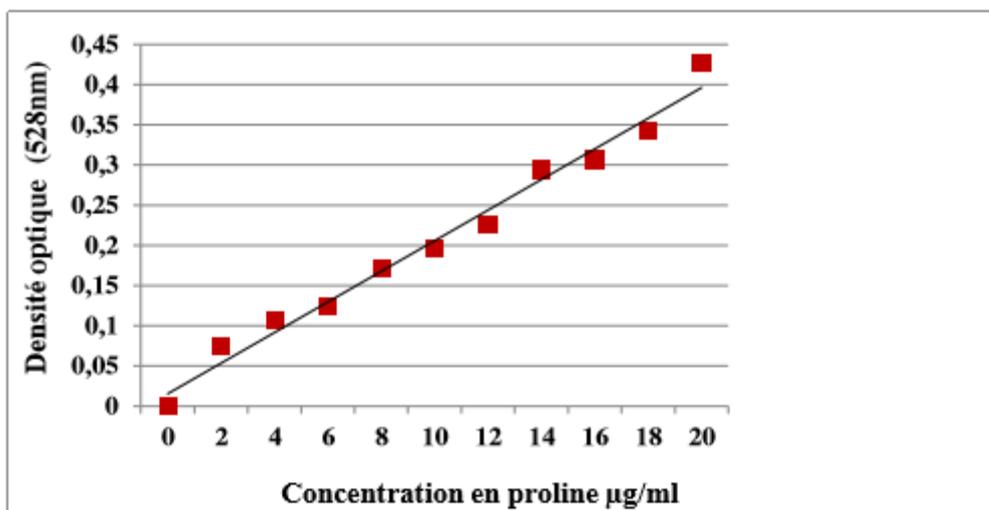


Annexe 4 : l'analyse en composante Principales

ACP :

L'analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode de la famille de L'analyse des données et plus généralement de la statistique multi variées, qui consiste à Transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées en statistique) en nouvelles Variables décorréelées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont Nommées »composantes Principales », ou axes principaux. Elle permet au praticien de Réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

Annexe 5 : la courbe d'étalonnage de la proline



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. Ceci est possible par l'utilisation des espèces lichéniques (*Xanthoria parietina*).

Trois stations ont été choisies dans la région industrielle de Réghaïa (Alger), pour prélever des échantillons de lichen *Xanthoria parietina* sur lesquels ont été dosées les quantités des paramètres physiologiques de la chlorophylle et de la 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 de l'ordre de $r=0,35$ et $p=0,04$ et des corrélations moins significatives entre les paramètres physiologiques (Ch. a, Ch. b, Ch. ab et la proline).

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 assessment of air pollution by PAHs. This is possible through the use of lichen species (*Xanthoria parietina*). Three stations were chosen in the industrial region of Réghaïa (Algiers), to take samples of *Xanthoria parietina* lichen on which the quantities of the physiological parameters of chlorophyll and of were assayed and the atmospheric pollutant concentrations of PAHs and PMs were measured. ..

The results of the descriptive statistics showed variations between the different stations and the ANOVA test gave significant differences in the mean chlorophyll ab concentrations between the stations.

The PCA test revealed positive correlations between PAHs and accumulated PMs of the order of $r = 0.35$ and $p = 0.04$ and less significant correlations between physiological parameters (Ch. A, Ch. b, Ch. ab and proline).

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

المخلص

الهدف من دراستنا هو إظهار أهمية استخدام النباتات لتقييم تلوث الهواء بواسطة الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. هذا ممكن من خلال استخدام أنواع الأشنة (*Xanthoria parietina*).

تم اختيار ثلاث محطات بالمنطقة الصناعية بالجزائر العاصمة لأخذ عينات من الأشنة *Xanthoria parietina* التي تم على أساسها قياس مقاييس العوامل الفسيولوجية للكوروفيل وقياس تركيزات الملوثات الجوية من الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات ودرجات الجسيمات. ..

أظهرت نتائج الإحصاء الوصفي اختلافات بين المحطات المختلفة، وأظهر اختبار ANOVA اختلافات معنوية في متوسط تركيزات الكلوروفيل ab بين المحطات.

أظهر اختبار PCA ارتباطات موجبة بين الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات ومتراكم PMs بترتيب $r = 0.35$ و $p = 0.04$ وارتباطات أقل معنويًا بين المعلمات الفسيولوجية (Ch. A، Ch. b، Ch. ab والبرولين).

الكلمات المفتاحية: التراكم الحيوي، المنطقة الصناعية، تلوث الهواء، *Xanthoria parietina*، الهيدروكربون العطري متعدد الحلقات.