

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA -  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2017

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV      Filière : Sciences Biologiques  
Spécialité : Biodiversité et environnement

Présenté par :

*M<sup>lle</sup>. BENHARIZ Hassina*

### *Thème*

**Utilisation de Xanthoria Parietina dans la Bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les Hydrocarbures dans la zone industrielle de Sidi Khaled à Bouira : Une comparaison avec les concentrations dans le sol et dans les écailles et les écorces de *Cupressus Sempervirens***

Soutenu le : 28 / 06 / 2018

Devant le jury composé de :

*Nom et Prénom*

*Grade*

*Mme. IDIR Thiziri*

*MAA*

*Univ. de Bouira*

*Présidente*

*Mme. BENAÏSSA Fatima*

*MCB*

*Univ. de Boumerdes*

*Promotrice*

*Mme. BOURFIS Nassima*

*MAA*

*Univ. de Bouira*

*Co-promotrice*

*Mme. MECLEME Dalila*

*MCA*

*Univ. de Bouira*

*Examinatrice*

**Année Universitaire : 2017/2018**

## Remerciement

*Tout d'abord je tien à remercier Allah le tout puissant qui nous a fait ouvrir les portes du savoir, qui nous a donné la force et la volonté de poursuivre mes études et de réaliser ce travail.*

*Je remercie mes chers parents pour leur soutien moral et matériel durant mes études.*

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à ma promotrice M<sub>me</sub> BENAÏSSA Fatima, enseignante à l'université de Boumerdès, je tien à remercier aussi ma Co-promotrice M<sub>me</sub> BOURFIS Nassima, enseignante à l'université de Bouira pour leur orientation et pour le temps qu'elles m'ont consacré.*

*Je remercie aussi les trois membres du jury qui ont accepté de juger ce modeste travail en l'occurrence la présidente M<sub>me</sub>.IDIR Thiziri et les examinatrices : M<sub>me</sub>.MECLEME Dalila et M<sub>me</sub>. BACHOUCH MESRANE Nassima, les trois sont enseignantes à l'université de Bouira.*

*Un grand merci pour tous les enseignants et enseignantes de l'université de Bouira pour les conseils et les orientations qu'ils m'ont prodigué le long de ce parcours . Ma pensé vas aussi à M<sub>me</sub>.MAIZI Naila que je remercier infiniment pour son soutien durant mes études tout en lui souhaitant un prompt rétablissement.*

# Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 1

## Première partie : Synthèse bibliographique

I.1. Définition de la Pollution atmosphérique ..... 3

I.2. Principaux polluants atmosphériques..... 4

I.2.1. Polluants atmosphérique primaires ..... 4

I.2.2. Polluantes secondaires ..... 5

I.3. Sources des polluants atmosphériques..... 6

I.3.1. Sources naturelles ..... 6

I.3.2. Sources anthropiques..... 7

I.3.2.1. Sources Industrielles ..... 8

I.3.2.2. Trafic routier ..... 8

I.3.2.3. Agriculture intensive ..... 9

I.4. Échelles d'émission de polluants atmosphériques ..... 9

I.4.1. Pollution à l'échelle local ..... 9

I.4.2. Pollution à l'échelle régional ..... 10

I.4.3. Pollution à l'échelle planétaire ..... 10

I.5. Devenir des polluants dans l'atmosphère ..... 10

I.5.1. Temps moyen de résidence ..... 11

I.5.2. modifications physico-chimiques des polluants atmosphériques..... 11

I.6. Pollution atmosphérique par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)  
..... 11

<b>I.6.1. Définition des HAPs .....</b>	<b>11</b>
<b>I.6.2. HAPs toxique .....</b>	<b>12</b>
<b>I.6.3. Caractéristiques physico-chimiques .....</b>	<b>12</b>
<b>I.6.4. Sources des HAPs.....</b>	<b>13</b>
<b>I.6.4.1. Sources naturelles .....</b>	<b>13</b>
<b>I.6.4.2. Sources anthropiques.....</b>	<b>13</b>
<b>I.7. Devenir des HAPs atmosphériques dans l'air .....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.1. Variation des concentrations en HAP dans l'air .....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.2. Processus de dissipation.....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.2.1. Réactivité atmosphérique des HAPs .....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.2.2. Dépôts atmosphériques des HAPs .....</b>	<b>16</b>
<b>I.8. Impacts des HAPs .....</b>	<b>17</b>
<b>I.8.1. Impact sur la santé humaine .....</b>	<b>17</b>
<b>I.8.2. Impact sur l'environnement.....</b>	<b>17</b>
<b>I.8.3. Impact sur la végétation .....</b>	<b>17</b>
<b>II.1. Définition de la bio surveillance.....</b>	<b>19</b>
<b>II.2. Outils de la biosurveillance .....</b>	<b>19</b>
<b>II.2.1. Biointégrateur .....</b>	<b>19</b>
<b>II.2.2. Bioindicateur .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3.3. Biomarqueur .....</b>	<b>20</b>
<b>II.3.4. Bioaccumulateur.....</b>	<b>20</b>
<b>II.3.Types de biosurveillance.....</b>	<b>21</b>
<b>II.3.2. Biosurveillance passive.....</b>	<b>21</b>
<b>II.3.1. Biosurveillance active .....</b>	<b>21</b>
<b>II.4. Biosurveillance végétale des HAP atmosphériques.....</b>	<b>22</b>
<b>II.5. Principales plantes utilisées dans la biosurveillance des HAP .....</b>	<b>23</b>
<b>II.5.1. <i>Xanthoria Parietina</i>.....</b>	<b>23</b>
<b>II.5.1.1. Caractéristiques botaniques. ....</b>	<b>23</b>
<b>II.5.1.2. Systématique .....</b>	<b>24</b>

II.5.1.3. Répartition géographique .....	24
II.5.1.4. Reproduction.....	24
II.5.1.5. Exigences Ecologique .....	25
II.5.1.6. Intérêt écologique .....	25
II.5.2. <i>Cupressus Sempervirens</i> .....	25
II.5.2.1. Caractéristiques botaniques .....	25
II.5.2.2. Systématique .....	26
II.5.2.3. Répartition géographique .....	26
II.5.2.4. Reproduction.....	26
II.5.2.5. Exigences écologiques.....	27

## **Deuxième partie : Pratique**

I.Présentation de la zone d'étude .....	28
I.1. Situation géographique de la commune d'Oued El Berdi .....	28
I.2. Situation de la zone industrielle d'Oued El Berdi .....	28
I.3. Géomorphologie et Reliefs .....	28
I.3.1. La Zone de Hautes collines au sud .....	29
I.3.2. La Zone de Plateau au nord .....	29
I.4. Géologie .....	29
I.5. Hydrologie .....	29
I.6. Hydrogéologie .....	30
I.7. Climat.....	30
I.7.1.Origine des données climatiques.....	30
I.7.2. Paramètres climatique .....	30
I.7.2.1.Précipitations .....	31
I.7.2.2. Températures .....	31
I.7.2.3. Vents.....	31
I.7.2. 4. Humidité de l'air .....	31
I. 5.2.5. Évaporation .....	31
I.7.3. Synthèse bioclimatique .....	32

I.7.3.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	32
I.7.3.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER .....	33
II. Matériels et Méthodes.....	34
II.1. Plan d'échantillonnage.....	34
II.2. Stations d'échantillonnage.....	34
II.3. Techniques de prélèvement des échantillons .....	38
II.3.1 Prélèvements des échantillons de <i>Xanthoria Parietina</i> .....	38
II.3.2. Prélèvements des échantillons de <i>Cupressus Sempervirens</i> .....	38
II.3.3. Prélèvements des échantillons de sol.....	38
II.3.4. Conservations des échantillons.....	38
II.3.4.1. Préparation des échantillons de sol avant l'analyse .....	38
II.4. Paramètres mesurés .....	39
II.4.1. Extraction des polluants.....	39
II.4.1.1. Technique d'extraction des HAP.....	39
II.4.1.2. Technique d'extraction des poussières et des cires .....	41
II.4.2. Paramètres physiologiques .....	42
II.4.2.1. Dosage de la chlorophylle.....	43
II.4.2.2. Dosage de la proline .....	43
II.5. Analyse statistique des résultats .....	45
III. Résultats et discussions .....	46
III.1. Évaluation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques .....	46
III.1.1. L'accumulation des HAP par <i>Xanthoria parietina</i> .....	46
III.1.2. L'accumulation des HAP par les écailles de <i>Cupressus sempervirens</i> .....	48
III.1.3. L'accumulation des HAP par les écorces de <i>Cupressus sempervirens</i> .....	49
III.1.4. L'accumulation des HAP par le Sol .....	50
III.2. Évaluation de l'accumulation des Poussières.....	51
III.2.1. Accumulation des poussières par les thalles de <i>Xanthoria parietina</i> .....	51
III.2.2. L'accumulation des poussières par les écailles de <i>Cupressus sempervirens</i> .....	53
III.2.3. L'accumulation des poussières par les écorces <i>Cupressus sempervirens</i> .....	54

<b>III.3. Paramètres physiologiques .....</b>	<b>55</b>
<b>II.3.1. Dosage de la Chlorophylle .....</b>	<b>55</b>
<b>III.3.1.1. Dosage de la Chlorophylle a (Ch. a) Chez <i>Xanthoria Parietina</i> .....</b>	<b>55</b>
<b>III.3.1.2. Dosage de la Chlorophylle (Ch. b) chez <i>Xanthoria Parietina</i> .....</b>	<b>56</b>
<b>III.3.1.3. Dosage de la Chlorophylle ab (Ch. ab) chez <i>Xanthoria Parietina</i> .....</b>	<b>57</b>
<b>III.3.2. Dosage de la Chlorophylle chez <i>Cupressus sempervirens</i> .....</b>	<b>58</b>
<b>III.3.2.1. Dosage de la Chlorophylle (Ch. a) chez <i>Cupressus sempervirens</i> .....</b>	<b>59</b>
<b>III.3.2.2. Dosage de la Chlorophylle (Ch. b) chez <i>Cupressus sempervirens</i> .....</b>	<b>60</b>
<b>III.3.3. Dosage de la proline .....</b>	<b>61</b>
<b>III.3.3.1. Dosage de la proline chez <i>Xanthoria pareitina</i> .....</b>	<b>61</b>
<b>III.3.3.2. Dosage de la proline chez <i>Cupressus Sempervirens</i> .....</b>	<b>62</b>
<b>III.4. L'analyse en Composante Principale (ACP).....</b>	<b>65</b>
<b>V.I. Discussion générale .....</b>	<b>67</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>70</b>

## **Références**

**Résumé en français**

**Résumé en anglais**

# Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Bouira ( <b>Période 2007-2017</b> )-----	32
<b>Figure 2</b> : Situation de la région de Bouira au niveau du Climagramme d'Emberger -----	33
<b>Figure 3</b> : La localisation géographique de la zone d'étude et les deux stations de référence	35
<b>Figure 4</b> : Illustration des stations de prélèvement de la zone industrielles de Sidi Khaled (1-5) en jaunes, et les stations écartées de (6-8) en rouge -----	36
<b>Figure 5</b> : Illustration de la station de Tikjda (ST) -----	36
<b>Figure 6</b> : Illustration de la station de prélèvement d'Errich (ST 2) en rouge -----	37
<b>Figure 7</b> : l'extraction des HAP a l'aide de Soxhlet -----	39
<b>Figure 8</b> : l'évaporation des solvants au bain-marie -----	40
<b>Figure 9</b> : Schéma du protocole expérimental pour l'extraction des HAP -----	41
<b>Figure 10</b> : Extraction de la poussière foliaire par le Chloroforme -----	42
<b>Figure 11</b> : Schéma du protocole expérimental pour l'analyse des poussières accumulées sur les surfaces foliaires -----	42
<b>Figure 12</b> : Conservation des solutions obtenues après l'extraction de la chlorophylle -----	43
<b>Figure 13</b> : La séparation des deux Phase : supérieure contenant la proline et une phase inférieure dépourvue de proline -----	44
<b>Figure 14</b> : Variation spatiale des HAP en $\mu\text{g}/\text{kg}$ accumulés par <i>Xanthoria Parietina</i> en fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018) -----	47
<b>Figure 15</b> Variation spatiale des HAPs en $\mu\text{g}/\text{kg}$ accumulés par les feuilles de <i>Cupressus sempervirens</i> en fonction des stations de prélèvement à la ville de Bouira -----	48
<b>Figure 16</b> : Variation spatiale des HAPs en $\mu\text{g}/\text{kg}$ accumulés par les écorces de <i>Cupressus sempervirens</i> en fonction des stations de prélèvement à la ville de Bouira en période printanière de 2018 -----	49
<b>Figure 17</b> : Variation spatiale des HAPs en $\mu\text{g}/\text{kg}$ accumulés par le sol en fonction des stations de prélèvement à la ville de Bouira en période printanière de 2018 -----	50
<b>Figure 18</b> : Variation spatiale des poussières en $\mu\text{g}/\text{g}$ accumulés par <i>Xanthoria Parietina</i> en fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018) -----	52

<b>Figure 19</b> : Variation spatiale des poussières en $\mu\text{g/g}$ accumulées par les feuilles <i>Cupressus sempervirens</i> fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	53
<b>Figure 20</b> : Variation spatiale des poussières en $\mu\text{g/g}$ accumulées par les feuilles <i>Cupressus sempervirens</i> fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	54
<b>Figure 21</b> : Variation de la teneur en chlorophylle a ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria Parietina</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	55
<b>Figure 22</b> Variation de la teneur en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria Parietina</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	56
<b>Figure 23</b> : Variation de la teneur en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria parietina</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018) -----	57
<b>Figure 24</b> : Variation de la teneur en chlorophylle a ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Cupressus Sempervirens</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018) -----	58
<b>Figure 25</b> : Variation de la teneur en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Cupressus Sempervirens</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018) -----	59
<b>Figure 26</b> : Variation de la teneur en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Cupressus sempervirens</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	60
<b>Figure 27</b> : Variation de la proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Xanthoria Parietina</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	61
<b>Figure 28</b> : Variation de la proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Cupressus Sempervirens</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	62
<b>Figure 29</b> : Corrélations entre les teneurs en proline, Ch. a, Ch. b, Ch. ab et les polluants accumulées par <i>Xanthoria parietina</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018)-----	63
<b>Figure 30</b> : Corrélations entre les teneurs en proline, Ch. a, Ch. b, Ch. ab et les polluants accumulées par <i>Cupressus Sempervirens</i> dans la région de Bouira (Printemps 2018) -----	64
<b>Figure 31</b> : Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur <i>Xanthoria parietina</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> prélevés dans la ville de Bouira -----	65

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Origine des principaux polluants primaires et leurs effets sur l'environnement ...	4
<b>Tableau 2:</b> l'origine des principaux polluants secondaires et leur effets sur l'environnement.	6
<b>Tableau 3:</b> les avantages et les inconvénients des approches de la biosurveillance active et passive .....	22
<b>Tableau 4:</b> les principaux travaux de la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAP .....	23
<b>Tableau 5:</b> Précipitations et températures moyennes mensuelles dans la station de Bouira (2007-2017).....	31
<b>Tableau 6:</b> les Valeur du quotient pluviométrique d'EMBERGER de la station de Bouira..	33
<b>Tableau 7:</b> Localisation et caractéristique des stations d'échantillonnage .....	37
<b>Tableau 8:</b> les avantages et les inconvénients des approches de la biosurveillance active et passive .....	22
<b>Tableau 9:</b> les principaux travaux de la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAP .....	23
<b>Tableau 10:</b> Précipitations et températures moyennes mensuelles dans la station de Bouira (2007-2017).....	31

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Origine des principaux polluants primaires et leurs effets sur l'environnement ...	4
<b>Tableau 2:</b> l'origine des principaux polluants secondaires et leur effets sur l'environnement.	6
<b>Tableau 3:</b> les avantages et les inconvénients des approches de la biosurveillance active et passive .....	22
<b>Tableau 4:</b> les principaux travaux de la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAP .....	23
<b>Tableau 5:</b> Précipitations et températures moyennes mensuelles dans la station de Bouira (2007-2017).....	31
<b>Tableau 6:</b> les Valeur du quotient pluviométrique d'EMBERGER de la station de Bouira..	33
<b>Tableau 7:</b> Localisation et caractéristique des stations d'échantillonnage .....	37
<b>Tableau 8:</b> les avantages et les inconvénients des approches de la biosurveillance active et passive .....	22
<b>Tableau 9:</b> les principaux travaux de la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAP .....	23
<b>Tableau 10:</b> Précipitations et températures moyennes mensuelles dans la station de Bouira (2007-2017).....	31

## Liste des abréviations

**POPs** : Polluants Organiques Persistants

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**SLCPs** : Short Lived Climate Pollutants

**PNA** : Peroxy-acyl-nitrates

**HNO<sub>3</sub>** : L'acide nitrique

**H<sub>2</sub>S** : sulfure d'hydrogène

**COV** : composé organique volatil

**T** : Température

**T° min** : Température minimale

**T° moy** : Température moyenne

**T° max** : Température maximale

**Q<sub>2</sub>** : Quotient pluviométrique d'EMBERGER

**SZ1** : la station 1 industrielle d'Oued El Berdi

**SZ2** : la station 2 industrielle d'Oued El Berdi

**SZ3** : la station 3 industrielle d'Oued El Berdi

**SZ4** : la station 4 industrielle d'Oued El Berdi

**SZ5** : la station 5 industrielle d'Oued El Berdi

**S Tikjda** : La station de Tikjda

**S Errich** : la station d'Errich

**Ch. ab** : Chlorophylle ab

**Ch. a** : Chlorophylle a

**CH. b** : Chlorophylle b

**µg** : Microgramme

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'étendue 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).

Le fait de respirer de l'air pur est considéré comme une condition essentielle de la santé et du bien-être de l'homme. Cependant la pollution de l'air continue de faire peser une menace importante sur le plan sanitaire partout dans le monde. Plus de 2 millions de décès prématurés peuvent chaque année être attribués aux effets de la pollution de l'air extérieur dans les villes et de l'air à l'intérieur des habitations à travers le monde (PERCOT, 2012).

En outre, la dégradation des écosystèmes par des phénomènes pouvant être liés à la pollution atmosphérique tels que l'acidification, l'eutrophisation, ainsi que l'accumulation de polluants persistants dans les chaînes trophiques, constitue un problème environnemental majeur (FOAN, 2012).

De nombreux végétaux peuvent être utilisés pour la biosurveillance 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. L'utilisation d'espèces végétales, témoins de l'état de contamination de l'air est un outil très intéressant au niveau local. Ainsi certaines espèces comme les lichens sont connus depuis longtemps pour être de bons indicateurs (KHALIL, 2016).

Depuis les années soixante-dix de nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique (MAIZI *et al.*, 2011). Ces 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 (BOUTERA, 2014).

Dans ce contexte, ce travail portera sur l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique liée aux HAPs et les poussières dans la zone industrielle d'Oued El Berdi par le moyen d'espèces bioaccumulatrices, à savoir le lichen (*Xanthoria Parietina*), qui réagissent à des doses de moindre importance des polluants et permettent ainsi de caractériser de façon pratique et sûre l'état d'un écosystème, et le conifère (*Cupressus sempervirens*), une espèce bioaccumulatrice, locale et résistante aux conditions climatiques défavorables. Pour cela, ce travail abordera les points suivants :

- ✓ La quantification des HAPs et les poussières accumulées par le thalle de *Xanthoria Parietina*, les feuilles et les écorces de *Cupressus Sempervirens*, ainsi les HAPs accumulés par le sol.
- ✓ La recherche des liens entre les teneurs en HAP et les poussières et leurs effets sur certains marqueurs biologiques : Chlorophylle (a, b, et ab) et la proline.

Pour atteindre cet objectif, le présent manuscrit est scindé en deux parties :

- ✚ La première partie est une synthèse bibliographique consacrée à la présentation du phénomène de pollution atmosphérique par les HAPs: origines, toxicités et les effets engendrés sur l'environnement. On y a abordé aussi des généralités sur la biosurveillance végétale et les principales caractéristiques des végétaux utilisés.
- ✚ La deuxième partie englobe la présentation de la zone industrielle de Sidi Khaled, le matériel et les méthodes utilisés, ainsi que les résultats que nous avons obtenus et les discussions que nous avons tenu à leur sujet.

# PREMIÈRE PARTIE

Synthèse

bibliographique

La pollution atmosphérique est un problème majeur de ce siècle. Son impact sanitaire et environnemental, est de plus en plus au cœur des préoccupations des spécialistes de la santé publique, et des organismes étatiques et des organisations internationales chargées de la protection de l'environnement.

Les végétaux sont des outils de grand intérêt pour la biosurveillance. Leur diversité offre un large éventail d'organismes utilisables : Bryophytes, Lichens, Plantes supérieures (plantes herbacées, feuilles et les écorces des arbres...) qui sont employés spécifiquement ou non pour détecter un grand nombre de polluants (ozone, oxydes d'azote, métaux lourds, HAP, dioxines, pesticides...).

C'est pour cette raison que dans cette première partie, nous proposons de familiariser le lecteur et lui présenter une vue courte et générale sur la pollution atmosphérique par les HAPs, leurs toxicités, leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé des habitants, ainsi que l'utilisation des végétaux dans la biosurveillance de la pollution atmosphérique.

## I.1. Définition de la Pollution atmosphérique

Le terme pollution atmosphérique désigne l'ensemble des rejets des composés toxiques libérés par l'homme dans l'atmosphère, mais aussi les substances malodorantes qui, sans être vraiment dangereuses dans l'immédiat pour les organismes vivants, exercent tout de même une action perturbatrice sur l'environnement.

La dégradation de la qualité de l'air peut résulter soit d'une modification quantitative, par hausse de la concentration dans l'air de certains de ses constituants nommés (gaz carbonique, peroxyde d'azote, ozone, par exemple), soit d'une modification qualitative due à l'introduction des composés étrangers à ce milieu (radioéléments, substances organiques de synthèse), soit encore et c'est le cas général d'une conjugaison de ces deux phénomènes **(KOLLER, 2004)**.

Constitue une pollution atmosphérique au sens de la loi Lepage, l'introduction par l'Homme directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives **(FINTZ, 2016)**.

Une autre définition de la pollution atmosphérique est donnée par la **Loi n° 03-10** correspondant au **19 juillet 2003** relative à la protection de l'environnement dans le cadre du

développement durable en Algérie. Elle l'a définie comme suit: « L'introduction de toute substance dans l'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie ».

## I.2. Principaux polluants atmosphériques

De très nombreux polluants sont émis dans l'atmosphère (YVES, 2004). La pollution peut donc être émise directement ou bien provenir de réactions chimiques diverses (FINTZ, 2016). Ainsi, les polluants qui composent cette couche peuvent être classés en deux catégories : polluants primaire et polluants secondaires (YVES, 2004).

### I.2.1. Polluants atmosphérique primaires

Les polluants primaires sont émis directement par des sources fixes ou mobiles (BREMAUD et al, 2012). Ils ont des effets directs sur la qualité de l'air, mais ils peuvent également servir de précurseurs pour les polluants atmosphériques secondaires (HACHE, 2014). Les sources les plus importantes d'émissions, de ces polluants primaires et leurs effets sont présentées dans le Tableau 01

**Tableau 01:** Origine des principaux polluants primaires et leurs effets sur l'environnement (GOMEZ-GARCIA, 2004 ; BOUSSOUARA, 2010 ; MASCLET, 2013 ; BOUTERAA, 2014)

Polluants	Origine	Effet sur l'environnement
SO <sub>2</sub>	Les combustibles fossiles (60% par le charbon, 30% par les fiouls lourds et 10% par les autres sources).	Il intervient de manière prépondérante dans le phénomène des pluies acides.
NO <sub>x</sub>	Toute combustion à hauts température, des combustibles fossiles et les centrales thermiques.	Les pluies acides en sont certainement la cause la plus probable et la plus importante.
CO	Combustion incomplète des combustibles fossiles : émis par les véhicules à essence, l'équipement agricole, les promesses industriels et par l'incinération des déchets.	Le CO participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone CO <sub>2</sub> et contribue à l'effet de serre
COV	La combustion incomplète dans des moteurs ou des centrales thermiques, l'évaporation de produits raffinés, l'usage de solvants dans l'industrie et les peintures.	Ils interviennent dans le phénomène de pollution photochimique en réagissant avec les oxydes d'azote sous l'action des rayons ultraviolets pour former l'ozone troposphérique (O <sub>3</sub> ).

Particules en suspension	De sources naturelles comme les éruptions volcaniques, la végétation (pollens...), les incendies de forêts... -Et des sources anthropiques comme les émissions industrielles, la combustion des fossiles combustibles.	Les matières particulaires constituent l'un des principaux composants du smog.
CO <sub>2</sub>	la combustion des énergies fossiles, la déforestation et les changements d'affectation des sols. La respiration ou de la fermentation des êtres vivants, de la précipitation des carbonates dans les océans, de l'altération des silicates sur les continents et du volcanisme.	la principale préoccupation liée au CO <sub>2</sub> en matière de pollution est l'effet de serre qu'il engendre.

### I.2.2. Polluantes secondaires

Aux polluants primaires s'ajoutent des polluants secondaires issus de transformations physicochimiques des polluants primaires (**BREMAUD *et al.*, 2012**). Cette transformation des polluants n'intervient pas systématiquement. Cependant, les polluants primaires libérés dans l'atmosphère peuvent subir une série de transformations chimiques conduisant à la formation des polluants secondaires. Elle se forme en présence d'autres polluants et sous l'action du rayonnement solaire, de la chaleur, du vent, ou de l'humidité. Leur présence dans l'atmosphère est difficile à réguler car leur existence ne provient pas directement des activités anthropiques. C'est pourquoi la source des pollutions secondaires est difficilement identifiable (**AOURAGH, 2015**). Les sources les plus importantes d'émissions, de ces polluants secondaires et leurs effets sont présentées dans le Tableau 02.

**Tableau 02** : l'origine des principaux polluants secondaires et leur effets sur l'environnement (MASCLET, 2013 ; BOUTERAA, 2014).

Les polluants	Origine	Effet sur l'environnement
<b>l'ozone O<sub>3</sub></b>	Il résulte de la transformation chimique de l'oxygène au contact avec le dioxyde d'azote et les hydrocarbures, en présence de rayonnement ultra-violet solaire et d'une température élevée.	Ces espèces contribuent notamment à certains
<b>Peroxy-acyl-nitrates (PNA)</b>	Ils se forment par des réactions photochimiques complexes	Phénomènes environnementaux tels que le smog, l'effet de serre et les pluies acides.
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ils se forment à partir des oxydes d'azote et d'autres polluants oxydants tels que les PAN.	

### I.3. Sources des polluants atmosphériques

L'atmosphère est le siège d'un transport de matière, en particulier d'éléments d'origines diverses (CATINON, 2010). La pollution atmosphérique se caractérise donc par la présence dans l'air de composés ayant un effet néfaste sur la santé humaine et/ou sur l'environnement. Ces polluants sont des particules minérales, organiques ou biologiques, des gaz ou des composés chimiques volatils (LE BECHER, 2016).

Les sources de pollution sont soit d'origine naturelle, soit d'origine anthropique et peuvent être de différentes natures (VENDEL, 2011).

#### I.3.1. Sources naturelles

La pollution d'air naturelle, c'est une pollution qui est toujours avec nous. Tout d'abord, l'émission dans l'atmosphère de polluants gazeux ou particulaires peut être d'origine naturelle (BOUSSOUARA, 2010). Ces sources peuvent être permanentes ou ponctuelles, et regroupent toutes les émissions ne faisant pas intervenir l'homme (BESSE-DELEVAL, 2013).

Les principales sources naturelles de présence des polluantes dans l'atmosphère sont les éruptions volcaniques (JEAN- CLAUDE, 2011). Bien que mineurs en comparaison à la pollution anthropique, les aérosols volcaniques peuvent avoir des effets importants, tant au

niveau de la pollution régionale à proximité du volcan qu'au niveau de la pollution globale dont les conséquences intéressent la totalité de l'atmosphère terrestre (BOUTERAA, 2014).

La combustion de bois et d'herbes conduisent à la formation d'ozone .lors des feux de forêts, de grandes quantités d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote sont émises. La formation d'ozone est importante (MASCLET, 2013).

Les végétaux sont aussi à l'origine d'émission de produits naturels tels que les terpènes, pollens, et les spores. Les grains de pollens peuvent être dispersés grâce à l'action des insectes et du vent, et fécondé ainsi d'autres fleurs (BOUTERAA, 2014).

La foudre est la principale source d'émission d'oxydes d'azote dans la partie supérieure de la troposphère. Elle est responsable de plus d'un quart de la production mondiale de NO<sub>x</sub>. (BOUSSOUARA, 2010).

Les algues à la surface des océans qui émettent du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Des zones humides et les marais la végétation en se décomposant produisant ainsi du méthane CH<sub>4</sub>.

Les émissions d'origine naturelle peuvent difficilement être qualifiées de pollution. Elles sont néanmoins importantes dans la mesure où les quantités émises peuvent être si considérables qu'elles perturbent les cycles biologiques (BOUTERAA, 2014).

### I.3.2. Sources anthropiques

L'accroissement de la population humaine, l'agriculture intensive et le développement industriel créent une pollution de l'air qui aujourd'hui devient préoccupante pour notre santé et notre environnement (LE BECHER, 2016).

La pollution liée à l'activité humaine est mieux connue et, à certains points de vue, plus importante depuis le milieu du XXème siècle. Toutefois, les polluants présents dans notre environnement sont souvent incolores, inodores et invisibles aux concentrations que l'on rencontre habituellement (MAIZI, 2014).

Les polluants atmosphériques liés à l'activité humaine proviennent principalement du transport routier (LEVESQUE *et al*, 2014).L'émission de fumées noires par les véhicules ou les odeurs que l'on peut ressentir quelquefois sont les marques les plus visibles de l'existence de ces nuisances (MAIZI, 2014). La combustion de charbon, d'hydrocarbures et de différents types de biomasses utilisés pour la production de chaleur ou d'électricité. La combustion de la biomasse agricole, en elle-même, est en lien direct avec cette problématique (BOUTERAA, 2014).

### I.3.2.1. Sources Industrielles

Tout processus de combustion produit les polluants suivants : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et poussières. La combustion du fioul et du charbon riche en soufre, fournit surtout du SO<sub>2</sub>. Toutes les combustions émettent aussi des aérosols carbonés et des HAP (hydrocarbures aromatique polycycliques) gazeux ou sous forme aérosols très fortement cancérigènes (**MASCLET, 2013**).

L'accroissement colossal de la production de métaux non ferreux au cours des derniers siècles s'est fatalement accompagné d'une augmentation faramineuse des quantités de polluants atmosphériques rejetés par ces industries à la fois sous forme particulaire, mais aussi de gaz toxiques, en particulier le redoutable SO<sub>2</sub> (**RAMADE, 2010**).

Les industries automobiles (peintures) et les industries chimiques émettent de nombreux COV, notamment des alcools, des COV chlorés et des COV aromatiques souvent toxiques. Les installations de raffinage, les industries des détergents, des peintures et des vernis et les usines où l'on utilise des dégraissants, sont aussi de forts pollueurs. De nombreux polluants sont émis par les incinérateurs. On retrouve surtout des composés COV chlorés et de l'acide chlorhydrique provenant des plastiques. Néanmoins, les incinérateurs sont globalement peu polluants (**MASCLET, 2011**).

### I.3.2.2. Trafic routier

L'automobile s'est rapidement imposée dès le XX<sup>ème</sup> siècle, comme le principal moyen de déplacement. Cependant, les transports terrestres à eux seuls, représentent plus de 75% des consommations mondiales d'énergie liées au secteur des transports. Dans le monde, le transport routier représente 90 % des trajets effectués par les passagers et 75 % des biens transportés (**AOURAGH, 2015**).

Le transport routier reste une des sources majeures de certains polluants. Il faut toutefois noter que le transport occupe une place plus importante au niveau des émissions de particules dans les milieux urbains (**TETREAULT, 2016**).

Le trafic automobile contribue à la pollution atmosphérique à la fois par l'émission directe de polluants liée à l'utilisation des véhicules (polluants primaires) et par les polluants dérivés émises par les véhicules. Les polluants se classent en deux grandes catégories : les particules (émises à l'échappement ou issues de l'usure des véhicules, de la chaussée et de la resuspension.), et les polluants gazeux (échappement et évaporation des carburants). Certains polluants de l'échappement peuvent être semi-volatils et être par conséquent présents en tant que particules et gaz. Plus précisément, les polluants émis par les véhicules roulants sont

principalement : CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, COV, Les métaux, les particules (SHORSHANI, 2014).

### I.3.2.3. Agriculture intensive

La présence des produits phytosanitaires dans le milieu naturel a une origine uniquement anthropique, contrairement aux composants des engrais, comme l'azote ou le phosphore, qui font partie des cycles biogéochimiques naturels. Ces produits sont xénobiotiques : on entend par-là qu'il s'agit de molécules synthétisées chimiquement. Dès lors qu'il y a présence de produit phytosanitaire dans l'environnement, il y a perturbation de son équilibre (HOUDART, 2005).

Les activités agricoles, sont aujourd'hui clairement identifiées comme contribuant, au même titre que les autres activités anthropiques, au changement climatique et à la pollution de l'air. Ce sont des sources de gaz à effet de serre à longue durée de vie, telles que le CO<sub>2</sub> (utilisation de combustibles fossiles, respiration du sol et des cultures), le protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O (conséquence de la fertilisation azotée) et le méthane CH<sub>4</sub> (fermentation entérique des ruminants, fermentation anaérobie lors de la gestion des effluents) mais aussi de SLCPs (Short Lived Climate Pollutants): particules primaires (travail du sol, combustion), ammoniac NH<sub>3</sub> et COV (CELLIER et al., 2016).

## I.4. Échelles d'émission de polluants atmosphériques

Les effets de la pollution de l'air se manifestent à tous les niveaux : à l'échelle planétaire, avec l'effet de serre, à l'échelle locale des environnements urbains ou industriels, et à l'échelle régionale (MORISSEAU, 2016).

### I.4.1. Pollution à l'échelle local

Cette pollution est celle qui existe à proximité des sources (industries, chauffage, trafic). C'est par exemple la pollution urbaine. Elle affecte la santé des populations par son action directe et à court terme, mais exerce également une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies (PHILIPPE, 2004). La pollution de proximité peut Provoque des phénomènes locaux comme la détérioration des biens matériels, par exemple les monuments ou les nuisances olfactives excessives, notamment sous le vent de certains types d'usines (PISON, 2005). C'est cette pollution locale qui, a fait l'objet d'un suivi aux abords des grands sites industriels (PHILIPPE, 2004).

## I.4.2. Pollution à l'échelle régional

Elle caractérise des pollutions que l'on observe dans des zones situées à quelques dizaines, voire à plusieurs centaines de kilomètre des sources de pollution (**PHILIPPE, 2004**). Les concentrations sont beaucoup plus faibles que dans la pollution de proximité (**KHLAIFI, 2007**).

Trois phénomènes sont regroupés sous ce terme, la pollution photochimique, les rejets accidentels (par exemple : Tchernobyl) et les pluies acides. Les oxydes d'azote et de soufre par combinaison avec la pluie créent des acides nitrique et sulfurique qui attaquent la végétation (**PHILIPPE, 2004**).

## I.4.3. Pollution à l'échelle planétaire

Les mouvements atmosphériques induisent des déplacements d'air à grande échelle. Les polluants émis au niveau du sol, et notamment ceux qui présentent une très grande stabilité chimique, peuvent gagner les hautes couches de troposphère, voire même la stratosphère au bout de plusieurs années. Plusieurs effets essentiels de la pollution à l'échelle planétaire sont aujourd'hui identifiés (**KHLAIFI, 2007**) :

- L'effet de serre est un phénomène naturel, sans ce phénomène, la température de l'air serait inférieure, de 30°C, à sa valeur moyenne actuelle de 15°C. Or, aujourd'hui, l'effet de serre augmente à cause des émissions anthropiques de certains gaz dits «à effet de serre », comme N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, et CO ce qui conduit à un déséquilibre climatique.
- Les rejets dus aux activités humaines tendent à diminuer l'épaisseur de la couche d'ozone stratosphérique, qui est nécessaire, à l'inverse de l'ozone de basse altitude. En effet, la couche d'ozone filtre une grande part du rayonnement solaire ultraviolet, ce dernier peut engendrer une augmentation du risque de développer des pathologies telles que les cancers de la peau (**PHILIPPE, 2004**).

## I.5. Devenir des polluants dans l'atmosphère

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**).

### 1.5.1. Temps moyen de résidence

La diffusion des polluants dans l'atmosphère est généralement rapide, même quasiment immédiate au niveau de la troposphère, elle s'effectue au contraire très lentement dans la stratosphère.

Le temps moyen de résidence d'une particule non sédimentable, demeurant dans la basse stratosphère, vers 20 kilomètres d'altitude est de 2 ans. Cette durée n'est que de quatre mois au niveau de la tropopause, de trente jours dans la haute troposphère et seulement de six à dix jours dans les couches les plus basses de l'atmosphère vers trois kilomètres d'altitude et au-dessous (RAMADE, 2010).

### 1.5.2. modifications physico-chimiques des polluants atmosphériques

Quand une substance est libérée dans l'atmosphère, elle peut subir trois destinées différentes : être transformée chimiquement sous une autre forme, en être éliminée, ou y demeurer, contribuant à un phénomène général d'accumulation. En réalité, à l'exception d'un nombre assez limité de substances peu réactives voir inertes, la grande majorité des polluants de l'air qui se déplacent à grande distance subissent au cours de leur trajet atmosphérique l'action des divers mécanismes de transformation et/ou de transfert vers les autres compartiments de la biosphère. En effet, se produisent dans l'atmosphère, tant pour la plupart des composés organiques que pour divers gaz inorganiques, des phénomènes de réaction avec la vapeur d'eau, d'oxydation au contact de l'O<sub>2</sub> et à fortiori de l'ozone atmosphérique (très réactif), associés ou non à des processus de dégradation photochimique (RAMADE, 2010).

## 1.6. Pollution atmosphérique par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

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

### 1.6.1. Définition des HAPs

Les HAPs sont constitués uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène (CAZAUNAU, 2009), sont des composés chimiques constitués de plusieurs cycles aromatiques juxtaposés. Le nombre théorique de HAP susceptibles d'être rencontrés est

supérieur à 1000. Ils sont en général présents dans l'environnement sous forme de mélanges (COSTES *et al.*, 1997). Ce sont donc des composés organiques neutres apolaires. Plus de cent HAP ont été identifiés. 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. (MARÇAIS, 2017).

### I.6.2. HAPs toxique

Les HAPs forment une vaste famille de polluants organiques persistants. Ils sont bioaccumulables dans les tissus vivants du fait de leur hydrophobie (LE BECHEC, 2016). L'une des raisons ayant conduit au classement des HAPs dans la liste des polluants prioritaires de l'US-EPA et de l'EEA, est le caractère toxique de certains d'entre eux. Ce sont des molécules biologiquement actives qui, une fois accumulées dans les tissus organiques, se dihydrodiols et /ou d'époxydes. Les métabolites ainsi formés peuvent avoir un effet toxique plus ou moins marqué en se liant à des molécules biologiques fondamentales telles que les protéines, l'ARN, l'ADN et en provoquant des dysfonctionnements cellulaires. Ainsi, la toxicité du benzo[a]pyrène est en partie indirectement liée au pouvoir cancérogène de l'un de ses métabolites, le benzo[a]pyrène-7,8-dihydrodiol-9,10-époxyde, qui se fixe au niveau de l'ADN des cellules et entraîne des mutations pouvant, à terme, aboutir au développement d'un cancer. Outre leurs propriétés cancérogènes, les HAPs présentent un caractère mutagène dépendant de la structure chimique des métabolites formés. Ils peuvent aussi entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire augmentant ainsi les risques d'infection. (ALBINT, 2006).

### I.6.3. Caractéristiques physico-chimiques

Les propriétés physico-chimiques des molécules organiques dictent leur comportement et leur distribution dans l'environnement. 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). Les propriétés physico-chimiques des HAPs dépendent de leurs structures et de leurs masses moléculaires et conditionnent leur devenir et leur distribution dans l'environnement. Selon leur nombre de cycles benzéniques, ces composés sont communément classés en HAP "légers" ( $\leq 3$  cycles) et HAP "lourds" ( $\geq 4$  cycles). Leur caractère hydrophobe augmente avec le nombre de cycles aromatiques, alors que leur solubilité diminue (PIMSEE, 2014).

Les faibles pressions de vapeur des HAPs leur confèrent une faible volatilité qui diminue avec le nombre de cycles aromatiques ; le naphthalène - HAP di-aromatique, étant le plus volatil (CRESPO, 2009).

### I.6.4. Sources des HAPs

L'inventaire des sources et la quantification des émissions des HAPs dans l'atmosphère est une des parties les moins bien connues de la recherche concernant la distribution globale et leur devenir dans l'environnement. En effet, les inventaires diffèrent déjà selon leur objectifs, qu'ils soient politiques (inventaires officiels) et voués à identifier et à contrôler les sources d'émissions ou scientifiques et tentent de comprendre l'impact des émissions sur l'environnement et la santé humaine (DESALME, 2011).

#### I.6.4.1. Sources naturelles

Les HAPs sont des composés que l'on retrouve de manière naturelle au sein de l'environnement. Cependant, de nombreuses activités anthropiques entraînent une forte production de ces molécules (GUERMOUCHE, 2014).

Trois voies de formation des HAPs caractérisent les sources naturelles :

- La synthèse par des organismes vivants (plantes et microbes) ;
- La pyrolyse à haute température de matériaux organiques ;
- La diagénèse à l'origine des combustibles fossiles.

#### I.6.4.2. Sources anthropiques

Les principales sources anthropiques sont liées à la combustion incomplète de la matière organique et se définissent au nombre de quatre : les émissions liées aux activités domestiques, les émissions mobiles, les sources industrielles et enfin, l'agriculture (GUILLON, 2011).

- ❖ **Les activités domestiques** : La fumée de cigarette ainsi que certains procédés de préparation et de cuisson des aliments (fumage, grillade, chauffage de l'huile de cuisine) constituent également une source pyrolytique non négligeable d'exposition de l'homme aux HAPs (PIMSEE, 2014).
- ❖ **Les émissions mobiles** : toute forme de transport motorisé est à l'origine des HAPs, les émissions dues aux moteurs à combustion utilisés pour le transport tant au niveau particulier qu'au niveau de l'industrie pour les machines d'extractions du minerai et de matériel en tout genre (JAUTZY, 2015).

- ❖ **Les émissions industrielles** : Les sources industrielles contribuent également à l'émission de HAP atmosphériques lors de la production d'aluminium, la production de coke et d'anodes, l'incinération des ordures ménagères, la fabrication du ciment, par l'industrie de l'asphalte, du bitume et du goudron, par le craquage du pétrole et par la synthèse de créosote utilisé pour la préservation du bois (FOAN, 2012).
- ❖ **Les émissions agricoles** : dans le but de stabiliser et entretenir les terres agricoles, l'écobuage et toute forme de feux de végétaux sont parfois utilisés mais sont des sources d'HAP particulières. On pourra ajouter dans cette catégorie les feux de forêts (GUILLON, 2011).

### I.7. Devenir des HAPs atmosphériques dans l'air

#### I.7.1. Variation des concentrations en HAP dans l'air

Les HAPs gazeux comportant 3 ou 4 cycles sont toujours retrouvés en proportions majoritaires dans les profils de HAP mesurés dans l'air. 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. Les concentrations en HAP particulières diminuent en général avec la distance aux sources d'émissions. Les concentrations varient également selon les pays. Dans chaque pays, les concentrations varient d'un facteur 1 à 3 selon le site considéré. De plus, la densité de population humaine influence localement les concentrations atmosphériques retrouvées dans différents sites à travers le monde (DESALME, 2011).

Les concentrations en HAP varient également dans le temps à différentes échelles (cycle journalier, saisonnier, interannuel) (DESALME, 2011). Des variations saisonnières sont également à noter, avec notamment des pics de concentrations des HAP en hiver, dûes au chauffage domestique (PERCOT, 2012).

#### I.7.2. Processus de dissipation

Les HAPs sont évacués du compartiment atmosphérique par deux types de mécanisme : la réactivité et le dépôt (sec et humide) (PERCOT, 2012).

##### I.7.2.1. Réactivité atmosphérique des HAPs

Lors de leur transport dans l'atmosphère, les HAPs sont potentiellement soumis à différents processus entraînant leur dégradation par les principaux oxydants atmosphériques (radical hydroxyle OH, ozone O<sub>3</sub>, oxydes d'azote NO<sub>x</sub>). La photochimie joue également un

rôle majeur dans leur réactivité et leur dégradation. Une étude a montré une corrélation entre l'intensité des radiations solaires et la concentration en HAP. Si l'intensité solaire augmente, la formation d'ozone est favorisée, ce qui permet une dégradation plus rapide des HAPs (VILLENAVE, 2013). Des composés secondaires peuvent se former dans l'air ambiant lors de réactions hétérogènes pendant le transport dans l'atmosphère. Les composés formés peuvent s'avérer plus dangereux que les composés initiaux. C'est le cas par exemple de certains HAP oxygénés et nitrés.

### ✚ Photo oxydation des HAPs :

La photooxydation des HAPs produit des composés oxygénés, dont certains sont de probables cancérigènes. Les HAPs alkylés semblent être plus réactifs que les HAPs non alkylés. De la même façon la réactivité des HAPs adsorbés sur des particules est plus élevée que celle des mêmes HAP en solution (LEOZ-GARZIANDIA, 2000).

### ✚ Réactivité avec les oxydes d'azote :

Lors d'essais dans des atmosphères contrôlées, des réactions entre les HAPs et les composés nitrés ont été mises en évidence ; elles ont conduit à la formation de nitro-HAP. Les composés ainsi formés peuvent être des mutagènes directs, c'est le cas par exemple du 3- nitro-pérylène. Certains nitro-HAP dans l'air ambiant pourraient être formés lors de réactions hétérogènes entre des HAPs particulaires et des Co-polluants nitrogénés gazeux pendant le transport dans l'atmosphère ou sur le filtre de prélèvement lui-même. Ces réactions dépendent cependant des concentrations atmosphériques en NO<sub>2</sub> (LEOZ-GARZIANDIA, 2000).

### ✚ Réactivité avec l'ozone :

L'ozone réagit facilement avec les HAPs. Plusieurs réactions ont été identifiées, les produits de réaction sont des diacides, des quinones ou des cétones, quelques composés formés sont mutagènes et cancérigènes (LEOZ-GARZIANDIA, 2000).

La réaction avec l'ozone pourrait être une voie importante de dégradation des HAPs particuliers dans l'atmosphère. La réactivité des HAPs à l'ozone dépend fortement de la nature du substrat sur lequel ils sont adsorbés. Plus l'ozone a d'affinité avec la surface, moins l'oxydant est disponible pour la réaction avec les HAP adsorbés. Ainsi les surfaces carbonées ont un effet stabilisant sur les HAPs vis-à-vis de l'ozone. Certaines études montrent que la vitesse de dégradation des HAPs dépend linéairement de la concentration initiale en ozone ; ce qui suggère une réaction biomoléculaire directe entre les HAPs adsorbés et l'ozone. La vitesse de réaction dépend également de la concentration particulière en HAP (CHASSARD, 2014).

### ✚ Réaction avec des composés soufrés :

Les HAPs peuvent réagir avec  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Les produits de réaction sont des acides sulfoniques et sulfoniques. Réaction avec des peroxydes ou d'autres radicaux libres : Les HAP peuvent réagir avec les peroxydes pour donner des produits de substitution ou des produits d'oxydation. Les HAPs réagissent rapidement avec les radicaux libres ( $\text{OH}\cdot$ ) et avec les atomes d'oxygène. Il est cependant difficile d'étudier toutes ces réactions dans des atmosphères réelles en raison de leur complexité et de la variété des composés formés (LEOZ-GARZIANDIA, 2000).

### I.7.2.2. Dépôts atmosphériques des HAPs

Les HAPs contaminent les compartiments environnementaux par les dépôts atmosphériques secs de gaz et de particules (DESALME, 2011). En ce qui concerne le dépôt sec des HAPs on retrouve les phénomènes d'impaction, sédimentation et la diffusion des gaz. Ce phénomène va largement dépendre de la taille des particules auxquelles les HAPs sont associés (PERCOT, 2012).

Les dépôts humides de HAP, c'est-à-dire la solubilisation des HAPs dans l'eau de pluie ou le brouillard, sont limités du fait de leur hydrophobicité. Les dépôts atmosphériques dépendent déjà de la nature du HAP considéré. Les processus de dépôts des HAPs gazeux dépendent des variables environnementales et des propriétés du compartiment exposé. Les mécanismes de dépôt des particules dépendent de leur force de gravité, des vents dominants (vitesse et direction) et de la morphologie de la zone réceptrice (présence d'obstacles : constructions, bâtiments, cultures ou forêts). Ensuite, la localisation des dépôts varie selon la distance à la source. Les HAPs gazeux sont plus susceptibles de subir un transport à très longue distance et d'être retrouvés dans les sites éloignés de toute source d'émission, tandis que les HAP particulaires restent plus près des sources. Cela est dû au fait que les HAPs gazeux peuvent être émis à la fois par des sources primaires (combustions) et par des sources secondaires (compartiments environnementaux tels que le sol ou les végétaux) desquelles ils se volatilisent en fonction des conditions climatiques, en particulier en fonction de la température (DESALME, 2011).

Le coefficient de partage des HAPs atmosphériques entre la végétation et le sol a mis en évidence une relation avec leur coefficient de partage gaz/particules. Les HAPs gazeux sont retrouvés dans les végétaux, tandis que les HAPs particulaires sont retrouvés dans le sol (DESALME, 2011).

## I.8. Impacts des HAPs

### I.8.1. Impact sur la santé humaine

La population humaine est exposée aux HAP par inhalation, ingestion sources alimentaires proviennent aussi bien des aliments eux-mêmes (sucre, céréales, huiles, graisses) que des modes de cuisson et en particulier du grillage des graisses (**COSTES *et al*, 1997**). L'exposition varie au niveau individuel selon le lieu (continent, pays, région, zone rurale/urbaine/ industrielle, densité de trafic) et les habitudes de vie. Dans le cadre d'activités professionnelles, certains travailleurs sont particulièrement exposés aux HAPs par voie cutanée et /ou aérienne (ouvriers dans les cokeries, les raffineries d'aluminium, employés de voirie, mécaniciens, et personnes travaillant à la réhabilitation des sols pollués). Les concentrations en BaP auxquelles ces travailleurs sont exposés peuvent dépasser les 20-40 µg /m<sup>3</sup> (**DESALME, 2011**).

Des études épidémiologiques ont montré que certains HAP étaient responsables de cancers respiratoires (broncho-pulmonaires), de la vessie, de la peau, des voies aérodigestives supérieures (cavités orales, nasales, différents pharynx, larynx), du système lymphatique, du système hématopoïétique (producteur de sang, principalement la moelle osseuse) et des voies digestives. Les HAPs classés comme cancérogènes probables ou possibles peuvent en particulier provoquer l'apparition de cancers du poumon en cas d'inhalation, surtout lorsqu'il s'agit de HAP particuliers. (**FOAN, 2012**).

### I.7.2. Impact sur l'environnement

Les hydrocarbures sont des contaminants environnementaux omniprésents. Ils constituent une classe des produits chimiques organiques dangereux (**GUERMOUCHE, 2014**). Les HAPs sont des molécules peu, voire non, biodégradables, ce qui leur confère des capacités de persistance dans l'environnement (**GUILLON, 2011**). Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou l'animal ou lors de leur transfert dans les chaînes alimentaires. C'est le phénomène de bioaccumulation avec le piégeage par les végétaux et les animaux des polluants ou de leurs produits de dégradation jusqu'à des teneurs atteignant les seuils de toxicité (**GUERMOUCHE, 2014**).

### I.8.3. Impact sur la végétation

Les plantes peuvent capter les HAPs par deux voies majeures, une voie racinaire et une voie foliaire. Dans la voie racinaire, les HAPs pénètrent passivement dans les cellules par osmose. Ce mode de captation est plus influencé par la concentration en HAP que par leur

nature (KHELIL, 2016). Dans la seconde voie, les HAPs s'accumuler sur la surface des feuilles, s'accumuler dans la cire cuticulaire ou diffuser à l'intérieur de la plante. Les polluants gazeux en particulier les HAPs de 2 à 4 cycles, pénètrent dans les plantes par les stomates. Les poussières contenant de plus grosses particules de HAP s'accumulent sur les parties aériennes des plantes, et notamment sur les feuilles, où elles sont piégées dans la cuticule. Les feuilles ne sont pas l'unique point de pénétration des polluants au niveau des parties aériennes. Les bourgeons floraux ou végétatifs, les cicatrices foliaires, les lenticelles, les écorces et les blessures peuvent servir aussi de point de pénétration des polluants (TANKARI DAN-BADJO, 2007).

Dans la majorité des cas, les polluants sont accumulés au niveau des feuilles, suivant le mode de pénétration, les contaminations des organes sont différentes. (KHELIL, 2016).

## II.1. Définition de la bio surveillance

La bio surveillance est définie comme « l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution » (**VAN HALUWYN *et al.*, 2011**). Tandis que l'approche physicochimique ne permet qu'une analyse indépendante des différents polluants préalablement sélectionnés pour représenter un niveau de pollution, la biosurveillance apporte, des informations sur le devenir et la toxicité de ces substances dans les systèmes biologiques. Elle se présente ainsi comme complémentaire de l'approche physico-chimique et permet de rendre compte d'un effet réel lorsque le dosage du milieu étudié oblige à une extrapolation, plus ou moins aléatoire (**FABURÉ, 2009**).

La biosurveillance végétale de la qualité de l'air présente une alternative intéressante grâce à l'utilisation des bioaccumulateurs. La quantité totale de polluant accumulée pendant un temps d'exposition donné est évalué par des analyses chimiques effectuées sur des échantillons (**FOAN, 2012**).

## II.2. Outils de la biosurveillance

### II.2.1. Biointégrateur

Le biointégrateur se situe au niveau populationnel ou communautaire et dénote la disparition ou l'apparition d'espèces, la variation densitaire (**FABURÉ, 2009**). Il prend toute sa valeur et sa fonction dans des études diachroniques (nécessité dans ce cas d'un certain temps de recul) ou synchroniques (nécessité de comparer des territoires différents pendant une période donnée). Autour de certaines sources de pollution atmosphérique, il est parfois difficile de mettre en évidence des polluants à partir de leurs seuls effets morphologiques ou tissulaires, voire même de leur accumulation (**VAN HALUWYN *et al.*, 2011**).

### II.2.2. Bioindicateur

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

Un bio-indicateur approprié doit idéalement présenter les caractéristiques suivantes :

- **Cosmopolitisme** : les organismes sélectionnés doivent permettre une application géographique et temporelle large des techniques de bio-indication ;

- **Localisation en début de chaîne alimentaire** : c'est-à-dire au plus proche des transferts de nutriments et d'énergie, les producteurs primaires sont ainsi particulièrement sensibles aux variations environnementales, même légères ;
- **Cycle de vie simple et court** : afin de révéler les changements ponctuels ainsi que les modifications sur le long-terme ;
- **Facilités d'identification** morphologique jusqu'au niveau de l'espèce ;
- **Protocoles d'échantillonnage** sur le terrain simplifiés (**MORIN, 2006**).

### II.3.3. Biomarqueur

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

Parmi les différents biomarqueurs utilisables chez les végétaux, on citera par exemple les modifications ultrastructurales, les mesures de la fluorescence de la chlorophylle, de l'activité photosynthétique, de la conductance stomatique, les dosages et/ou la recherche de divers métabolites et enzymes, les indicateurs de l'intégrité membranaire, les tests de génotoxicité. L'idée principale étant de développer des approches les plus précoces et spécifiques possibles (**VAN HALUWYN *et al.*, 2011**).

### II.3.4. Bioaccumulateur

Les bioaccumulateurs sont des organismes résistants à la pollution, ils accumulent les polluants passivement. Grâce à des analyses, ces organismes donnent des informations sur la nature des polluants et sur leurs niveaux (**AIT HAMMOU, 2015**).

La bioaccumulation est un processus d'absorption par lequel les êtres vivants peuvent accumuler dans leur organisme des nutriments, toute autre substance présente naturellement dans son environnement ou encore un polluant organique de synthèse, quelle que soit la voie de pénétration dans l'organisme considéré.

Chez les plantes, la bioaccumulation résulte en règle générale de l'absorption des polluants par les voies transradiculaires et transpolaires, éventuellement par voie respiratoire (par la respiration stomatique) lorsqu'il s'agit de polluants gazeux.

La bioaccumulation n'implique pas obligatoirement un accroissement de concentration d'un polluant quand il passe du biotope dans l'organisme considéré (**RAMADE, 2010**).

Le concept de la bioaccumulation se distingue totalement des trois précédents en ce sens que ce n'est pas un indicateur de réaction. Dans ce cas, l'organisme utilisé sert principalement de matrice pour le dosage de différents polluants suite à des mécanismes de transfert et d'accumulation. C'est une méthode qui permet d'étudier l'imprégnation de l'environnement par les polluants et de suivre l'évolution (spatiale et temporelle) de cette imprégnation. Contrairement aux concepts précédents pour lesquels il est indispensable de choisir les espèces « sensibles », en bioaccumulation on aura recours aux organismes les plus résistants possible afin de ne pas perturber les phénomènes d'accumulation. On pourra l'utiliser à la fois en approches passive et active avec soit des végétaux supérieurs, soit des bryophytes ou des lichens (**VAN HALUWYN *et al.*, 2011**).

### II.3.Types de biosurveillance

En fonction de la situation à laquelle on est confronté, on a souvent recours soit à une approche dite passive, soit à une approche dite active (afin d'augmenter la performance du diagnostic, on utilisera simultanément ces deux approches) (**GARREC *et al.*, 2008**).

#### II.3.2. Biosurveillance passive

La bio surveillance passive consiste à utiliser les matrices environnementales in situ (**MERLEN, 2015**). Cette approche est basée sur l'observation des organismes présents naturellement dans l'environnement étudié. Elle est principalement utilisée pour observer les impacts à long terme, en tenant compte des conditions écologiques et climatiques (**ALZIEU *et al.*, 2003**).

#### II.3.1. Biosurveillance active

La bio surveillance active, consiste à prélevés des individus sur des sites de référence non contaminés (**ALZIEU *et al.*, 2003**) et la transplantation de ces individus sur un site pendant une période donnée. Ainsi, l'évolution de leur état d'organisation traduit la pollution du site étudié (**FABURÉ, 2009**). Les avantages et les inconvénients des méthodes de la biosurveillance active et passives sont présentés dans le tableau 03.

**Tableau 03** : les avantages et les inconvénients des approches de la biosurveillance active et passive.

Méthode	Avantages	Inconvénients
<b>Passive</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Accessibilité de l'échantillonnage.</li><li>-Références nationales et internationales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-L'indisponibilité des espèces sentinelles dans certaine zone.</li><li>-Variations dues à la taille des organismes</li></ul>
<b>Active</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Période d'exposition connue</li><li>-Choix de l'emplacement des stations indépendant de la bathymétrie.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-La variabilité des conditions bioclimatiques.</li><li>- La variabilité des caractéristiques génétiques des espèces.</li><li>-l'hétérogénéité de la répartition spatiale des plantes.</li></ul>

Source : (ALZIEU *et al.*, 2003).

### II.4. Biosurveillance végétale des HAP atmosphériques

Les principaux bioindicateurs utilisés à ce jour en biosurveillance végétale des teneurs atmosphériques en HAP sont les aiguilles de conifères, les lichens et les mousses. Quelques travaux récents se sont également intéressés à l'écorce d'arbres, aux herbacées et aux plantes épiphytes. Les études sont généralement réalisées afin d'étudier les tendances spatiales à l'échelle régionale ou temporelles à l'échelle saisonnière (FOAN, 2012). Les Principaux bioaccumulature utilisés pour étudier les dépôts atmosphériques de HAP sont présentés dans le tableau 04.

Les lichens 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, le fluor, les éléments radioactifs, etc. Cette propriété permet d'utiliser les lichens comme bioindicateurs d'une pollution spécifique (AIT HAMMOU, 2015).

**Tableau 04 :** les principaux travaux de la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAP.

Bioindicateur	Références
Lichens	(MIGASZEWSKI <i>et al</i> , 2002 ; AUGUSTO <i>et al</i> , 2009 ; KHELIL <i>et al</i> , 2013 ;NASCIMBENE <i>et al</i> , 2014 ; LOPPI <i>et al</i> , 2015 ; WILLIAM <i>et al</i> , 2017).
Aiguilles de conifères	(BRORSTRÖM-LUNDEN <i>et al</i> , 1998 ; AUGUSTO <i>et al</i> , 2010 ; SUN <i>et al</i> , 2010 ; AMIGO <i>et al</i> , 2011 ; DROOGE <i>et al</i> , 2014 ; OISHI,2018).
Mousses	(DO ŁEGOWSKA <i>et al</i> , 2011 ; FOAN <i>et al</i> , 2015 ; CAPOZZI <i>et al</i> , 2016).
Ecorce d'arbres	(PEREIRA NETTO <i>et al</i> , 2007).

### II.5. Principales plantes utilisées dans la biosurveillance des HAP

Afin de mieux comprendre le rôle important que jouent le lichen (*Xanthoria Parietina*) et le conifère (*Cupressus Sempervirens*) en tant que modèle en écotoxicologie, il est nécessaire de présenter leurs caractéristiques générales.

#### II.5.1. Xanthoria Parietina

##### II.5.1.1. Caractéristiques botaniques.

Thalle foliacé jaune-orangé pouvant être gris-bleuté lorsqu'il croît à l'ombre. Les lobes sont plats et appliqués au substrat, de largeur comprise entre 3 et 7 mm. Plus larges à l'apex, ils se recouvrent partiellement les-uns-les-autres et ont souvent un aspect drapé. Le centre de la rosette est parfois formé de petits thalles sub-squamuleux. La face inférieure est presque blanche et munie de rhizines simples et peu abondantes. Les apothécies sont généralement nombreuses, leurs diamètre peut atteindre 4 mm, le disque est de couleur orangée au centre et le rebord est jaune, il devient légèrement crénelé avec le temps. la surface du disque est d'abord concave puis devient presque plate à maturité (POELT *et al*, 1891).

### II.5.1.2. Systématique

---

<b>Règne</b>	Fungi
<b>Embranchement</b>	Ascomycota
<b>Classe</b>	Lecanoromycetes
<b>Ordre</b>	Teloschistales
<b>Famille</b>	Teloschistaceae
<b>Genre</b>	<i>Xanthor</i>

---

Source : (MICHELAUR ,2011)

### II.5.1.3. Répartition géographique

Cette espèce est quasi cosmopolite : on la trouve dans le nord-ouest de l'Europe, en Afrique, en Asie, en Australie et en Amérique du Nord (de l'Indiana à la Californie, Québec, Nouveau Brunswick, Nouvelle Ecosse, Labrador, St-Pierre et Miquelon). La distribution de ce lichen n'est pas cantonnée au littoral, on le trouvera en abondance à l'intérieur des terres.

*Xanthoria parietina* est une espèce très commune sur les troncs et branches des arbres feuillus. Elle affectionne également rochers et substrats minéraux artificiels (murs, béton, briques, tuiles...). Sa présence en abondance traduit, en général, une atmosphère humide et azotée, d'où son utilisation en tant qu'indicateur de qualité d'air dégradée (MARSY, 2015).

### II.5.1.4. Reproduction

Le développement du lichen *Xanthoria Parietina* commence avec la germination des spores. Les hyphes qui poussent hors des spores, entrent en contact avec le substrat au moyen d'une sécrétion gélatineuse et se propagent relativement et rapidement sur la surface du substrat. Comme plusieurs hyphes germent habituellement à partir d'un groupe de spores, la colonisation du substrat commence dans de nombreuses directions en même temps. Cela améliore considérablement la probabilité que des hyphes rencontrent des algues. A ce stade, il est important de savoir si ces algues sont des pseudo-algues étrangères ou *Pseudotrebouxia* vivant libre, avec lesquelles le champignon de *Xanthoria Parietina* peut former une véritable symbiose. Même si les hyphes fongiques ne sont pas en mesure d'entrer en symbiose avec les algues étrangères, elles sécrètent toujours des substances gélatineuses au contact de toutes les algues et les incorporent dans un réseau lâche constitué d'algues, d'hyphes et de gelées.

Cependant, la quantité de gelée sécrétée est moindre lorsque les hyphes fongiques se rencontrent avec des algues étrangères, que lorsqu'une vraie symbiose commence avec des algues de type *Trebouxia* (OTT, 1987).

### II.5.1.5. Exigences Ecologique

Les lichens ont besoin d'eau, de sels minéraux et d'un minimum de lumière pour vivre. L'algue, en échange de l'eau et des sels minéraux absorbés dans l'air ou dans le substrat par le champignon, va, en bon paysan, nourrir le champignon. Notamment ce sont des sucres et des vitamines qu'elle élabore de façon autonome à partir de l'air et de la lumière comme tout végétal vert. Le champignon assure la fixation au substrat et en bon seigneur protège l'algue par son feutrage qui fait rempart ; il est aussi capable d'absorber la moindre parcelle d'humidité de l'air et en fait profiter l'algue. Le champignon synthétise de nombreuses substances dites « substances lichéniques » qui font bouclier contre le soleil (pigments protecteurs) ou qui arment le lichen de substances toxiques destinées à repousser les prédateurs. (BELLENFANT *et al.*, 2010).

### II.5.1.6. Intérêt écologique

Les lichens s'insèrent dans les chaînes alimentaires, sont consommés par certains animaux, ou font l'objet d'un parasitisme par d'autres champignons qui leur sont inféodés.

Du fait de leur sensibilité ou de leur capacité d'accumulation de polluants, les lichens sont souvent utilisés comme bio-indicateurs. Très peu tolérants vis à vis de gaz toxiques tels que le dioxyde de soufre, ils disparaissent de ces zones polluées. La présence d'une grande variété d'espèces et leur abondance sont généralement indicatrices d'une bonne qualité de l'air (Association Française de lichénologie, 2011).

## II.5.2. *Cupressus Sempervirens*

### II.5.2.1. Caractéristiques botaniques

Le cyprès vert est un conifère de la famille des Cupressacées qui peut atteindre une hauteur maximale de 25 mètres. On le trouve sous deux formes d'aspect très différent : la forme horizontaliste à branches étalées et d'aspect conique et la forme *fastigiata* à branches dressées ou très courtes et d'aspect en pinceau. Les rameaux écailleux sont bruns (FROUX, 2002). Le feuillage est vert foncé, persistant et aromatique. De petites feuilles triangulaires, étroitement imbriquées sur quatre rangs recouvrent totalement les rameaux (RIVERA NAVA, 2008). Le système racinaire est très développé avec des racines secondaires horizontales et superficielles qui ancrent l'arbre dans le sol alors que la racine principale

avorte tôt. Le cyprès vit très vieux et sa croissance en longueur est rapide. Dans de bonnes conditions, il n'y a pas d'arrêt de croissance (croissance continue) (FROUX, 2002).

### II.5.2.2. Systématique

<b>Embranchement</b>	Spermaphytes
<b>Sous Embranchement</b>	Gymnospermes
<b>Classe</b>	Pinopsida
<b>Ordre</b>	Pinales
<b>Famille</b>	Cupressaceae
<b>Genre</b>	Cupressus
<b>Espèce</b>	Sempervirens

Source : (NICHANE, 2015)

### II.5.2.3. Répartition géographique

Le *Cupressus Sempervirens*, cyprès vert, est originaire d'Iran, ainsi que de Syrie, Turquie, Chypre et plusieurs îles grecques (Crète, Samos, Rhodes, Kos, Symi et Melos). Cette espèce a été introduite dans la plupart des pays autour de la Méditerranée. Il est probable que cette espèce ait occupé pendant le Tertiaire de grandes surfaces (Axelrod 1958) qui ont été réduites au cours du temps par la forte pression humaine, les incendies, le pâturage, l'exploitation des forêts et, plus récemment, la maladie du chancre du cyprès (RIVERA NAVA, 2008).

### II.5.2.4. Reproduction

Lorsque le grain de pollen arrive au contact de l'ovule germé, il émet un tube pollinique qui pénètre à l'intérieur de l'ovule ; les gamètes mâles sont alors libérés et arrivent au niveau d'un des 3 archéogones. La fécondation a lieu entre le gamète mâle et l'oosphère où la fusion donne un embryon qui se développera par la suite. Les chatons femelles suite à la fécondation s'organisent chacune en un strobile globuleux formé de 8 à 12 écailles peltées, ligneuses, hexagonales qui sont reliées entre elles par un pédoncule central. Chaque écaille est surmontée d'une petite pointe appelée « mucron ». Les cônes verts globuleux, de 2 à 3 cm de

diamètre, murissent sur 2 ans et évoluent par la suite en galbules lignifiées appelées « noix de cyprès ». A leur maturité, les écailles vont se séparer et libérer les graines nues.

A l'intérieur de la graine, on retrouve l'embryon entouré d'un tissu de réserve ; sa forme ailée favorise sa dissémination par le vent (RIOM, 2010).

### II.5.2.5. Exigences écologiques

Le Cyprès est un arbre robuste susceptible de s'adapter à des conditions physiques très sévères (NICHANE, 2015). Du fait de leurs tolérances à des conditions défavorables, ces écailles sont utilisées dans la bioaccumulation des métaux (MAATOUG *et al*, 2007).

**Température :** le Cyprès peut résister à une température jusqu'à  $-20^{\circ}\text{C}$ . C'est le froid humide en hiver qui peut être préjudiciable à sa longévité.

**Précipitation :** le Cyprès est un arbre qui n'a pas d'exigence pluviométrique et peut se contenter de 250 à 350 mm / an.

**Sol :** il est indifférent à la nature chimique du substrat. Il préfère les sols profonds, drainés, si non ras même sec et calcaire. Il supporte mal les terres argileuses ou trop gorgées d'eau. Un sol trop humide peut entraîner le développement des champignons parasites (NICHANE, 2015).

# DEUXIÈME PARTIE

## Pratique

## Présentation de la zone d'étude

Dans le cadre de la biosurveillance de la pollution atmosphérique de la zone industrielle de Sidi Khaled, aucune étude n'a été réalisée, malgré la concentration des habitants tout autour de cette zone, (11 455 hab d'après les statistiques de l'année 2012). Nous devons signaler que l'expansion de cette zone va en grandissant avec la prolifération des usines. Dans ce contexte, l'étude que nous avons réalisée dans cette zone, permettra une évaluation de la concentration des HAP et des poussières en utilisant le lichen *Xanthoria Parietina* et Conifère *Cupressus Sempervirens*, et le sol.

Cette partie englobe la présentation de la zone industrielle où nous avons effectué notre étude, à savoir le matériel et les méthodes que nous avons utilisés durant notre période de travail, ainsi que les résultats obtenus et leurs discussions.

### I.1. Situation géographique de la commune d'Oued El Berdi

Oued el Berdi, une des 45 communes de Bouira ; située dans sa partie centrale. Elle est localisée à 12 km au Nord-Ouest de son chef-lieu de Daïra « El Hachimia » et à 10 km du chef-lieu de Wilaya « Bouira ».

Le territoire de la commune s'étend sur une superficie globale de 11300 ha et regroupe une population estimée à 10767 habitants. Elle est limitée administrativement :

- Au Nord, par la commune de Bouira;
- Au Sud, par la commune d'El Hachimia et la commune d'Ouled Rachad ;
- A l'Ouest, par la commune d'El Hachimia;
- A l'Est, par la commune d'Ahl El Kasar et la commune d'El Asnam (PDAU, 2017).

### I.2. Situation de la zone industrielle d'Oued El Berdi

Localisée dans la localité de Sidi Khaled et située au cœur même de l'unité d'aménagement de Bouira, à la sortie du Chef-Lieu vers El Hachimia, la zone industrielle dispose d'une position stratégique au niveau de la dynamique urbaine. L'accessibilité de la zone se fait par le biais de l'autoroute vers la route nationale numéro 8 (RN8), ainsi que la future pénétrante de Sour El Ghozlane (PDAU, 2017).

### I.3. Géomorphologie et Reliefs

La commune Oued El Berdi s'étend sur deux ensembles géomorphologiques principaux bien distincts : la Zone de Hautes collines au sud et la Zone de Plateau au nord.

## Présentation de la zone d'étude

### I.3.1. La Zone de Hautes collines au sud

Cette zone occupe le tiers (1/3) de la commune et constitue la transition vers la chaîne des Bibans, qui est une chaîne jeune par rapport à l'ère géologique, et qui a subi une émergence au début du Tertiaire. Les pentes de 15 à 20% sont plus présentes dans cette région. Les pentes les plus fortes (>20 %) se situent à Koudret Oudaden et Tagdemt. La structure se présente en plusieurs dômes à moyen Albien, dont la corniche de la chaîne culmine à des altitudes importantes de 814 m, au sud de ces dernières.

### I.3.2. La Zone de Plateau au nord

La Zone de Plateau a une inclinaison Ouest – Est allant de 735 m à 55 m. Toutefois le plateau n'est pas uniformément plat puisqu'il est interrompu par de nombreuses buttes et Koudietes qui ponctuent le paysage, ainsi l'existence de Oued El Berdi qui partage le plateau en deux entités dont celle située au Sud est plus mouvementée :

- Koudiet Sidi Med Benyahia à 749 m d'altitude.
- Koudiet Ria à 829 m d'altitude.
- Le chef-lieu de la commune Oued El berdi se situe à 605 m.

La majeure partie d'Oued El Berdi, se situe à une altitude allant de 600 et 800 mètres (PDAU, 2017).

## I.4. Géologie

La géologie de la commune Oued El Berdi est composée de quatre (04) unités stratigraphiques qui sont :

1. L'Oligocène marin, à marne grises « imperméable ».
2. L'Eocène marin, à marnes, marno-calcaires et calcaires à silex quelques sources surgissent des niveaux calcaires de l'ypression, le reste de la formation est « imperméable ».
3. Le Crétacé marin à marnes calcaires, marnes argiles brunes, grès quartzites, argile schisteuse sombres.
4. Le Trias à gypses, marnes et dolomies noires, il donne des « maigres sources sulfateuses » (PDAU, 2017).

## I.5. Hydrologie

Les Oueds les plus importants sont Oued El Berdi et Oued Hammam. Toute fois une multitude de petits Oueds forment un chevelu très dense dans toute la commune.

- Les sources : cinq « 05 » sources existantes a Oued El Berdi, mais ont un débit faible ce sont des sources qui prennent naissance entre deux couches géologiques, la superficielle

## Présentation de la zone d'étude

est perméable par contre la profonde est imperméable (là où nous avons l'alternance des marnes et de calcaires nous avons des possibilités de trouver de l'eau qui reste à localiser) et permettant l'alimentation en eau de toute la zone éparse (**PDAU, 2017**).

- Les Oueds jouent un rôle de réception et de transport des différents rejets urbains, industriels et agricoles. Leur pouvoir naturel autoépuration ne suffit plus à résorber les charges et risque de pollution.

### I.6. Hydrogéologie

Les possibilités hydrogéologiques du plateau sont très limitées à cause de la nature imperméable des argiles schisteuses du plateau. La commune d'Oued El Berdi appartient à un système aquifère multicouche. Ces aquifères continus ou discontinus possédants des ressources locales très limitées.

- La formation géologique **q'** : **Alluvions anciennes de niveau supérieur** quant à elles, forment une nappe aquifère qui a pu se constituer grâce à la présence des cailloutis qui ont pu former un réservoir, ce qui explique la présence de nombreux puits ces derniers sont asséchés, au lieu-dit la baraque, à cause de l'utilisation de la dynamité dans les carrières avoisinantes. La propagation des ondes crée un certain désordre dans le sol et surtout dans les nappes phréatiques.
- La formation **m** : **conglomérats** et argiles (Aquitaniens), peut être un bon réservoir si la pluviométrie est importante (**PDAU, 2017**).

### I.7. Climat

Le climat de la commune Oued El Berdi est de type méditerranéen tempéré, chaud et sec en été ; froids, pluvieux et humide en hiver (**Station météorologique de Bouira, 2018**).

#### I.7.1. Origine des données climatiques

Les données climatiques dans la présente étude proviennent de la station météorologique de Bouira (la station météorologique la plus proche de la commune d'Oued EL Berdi) et couvrent une période de dix (10) années allant de 2007 à 2017.

#### I.7.2. Paramètres climatique

Les données climatiques recueillies concernent les températures, les précipitations, l'humidité de l'air, l'évaporation, et le vent.

##### I.7.2.1. Précipitations

La station de Bouira reçoit une moyenne annuelle de 564.05 mm de pluies, les précipitations annuelles sont abondantes en hiver. Sachant que les mois de Février et Mars

## Présentation de la zone d'étude

sont les mois les plus arrosés, avec une pluviométrie de 72.28 et 88.63mm. L'été est sec avec de très faibles précipitations. Ainsi, les mois de Juillet et d'Aout enregistrent les valeurs les plus faibles, avec seulement 1.92 et 11.43 mm (**tableau 05**).

**Tableau 05:** Précipitations et températures moyennes mensuelles dans la station de Bouira (2007-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
<b>P (mm)</b>	65.2	73.28	88.63	63.1	38.64	18.07	1.92	11.43	35.91	45.02	69.76	53.06	564.05
<b>T (°C)</b>	8.3	8.65	10.98	15.18	18.51	23.61	27.66	28.03	23.36	18.95	12.41	8.9	17.04

### I.7.2.2. Températures

D'après l'analyse des données du tableau des températures de la station métrologique de Bouira, série (2007-2017), la région présente un hiver rigoureux et un été chaud, avec des amplitudes annuelles fortes, atteignant respectivement 5°C et 30°C. Les températures moyennes mensuelles relevées par la station de Bouira, est de 8,3°C à 27.66°C (**Tableau 5**).

### I.7.2.3. Vents

Les directions des vents dominants sur Oued El Berdi, sont d'une composante Nord-ouest (NW) à Nord-est (NE) en automne et en hiver et d'une composante Sud-ouest (SW) en été, la vitesse de la moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station de Bouira, est de 2,28 m/s. Concernant le Sirocco, il souffle en moyenne 25 jours par an (surtout Juillet et Août).

### I.7.2. 4. Humidité de l'air

Les moyennes annuelles relevées donnent : \* 75 % à 7h / \* 48 % à 15h / \* 60 % à 18h.

### I. 5.2.5. Évaporation

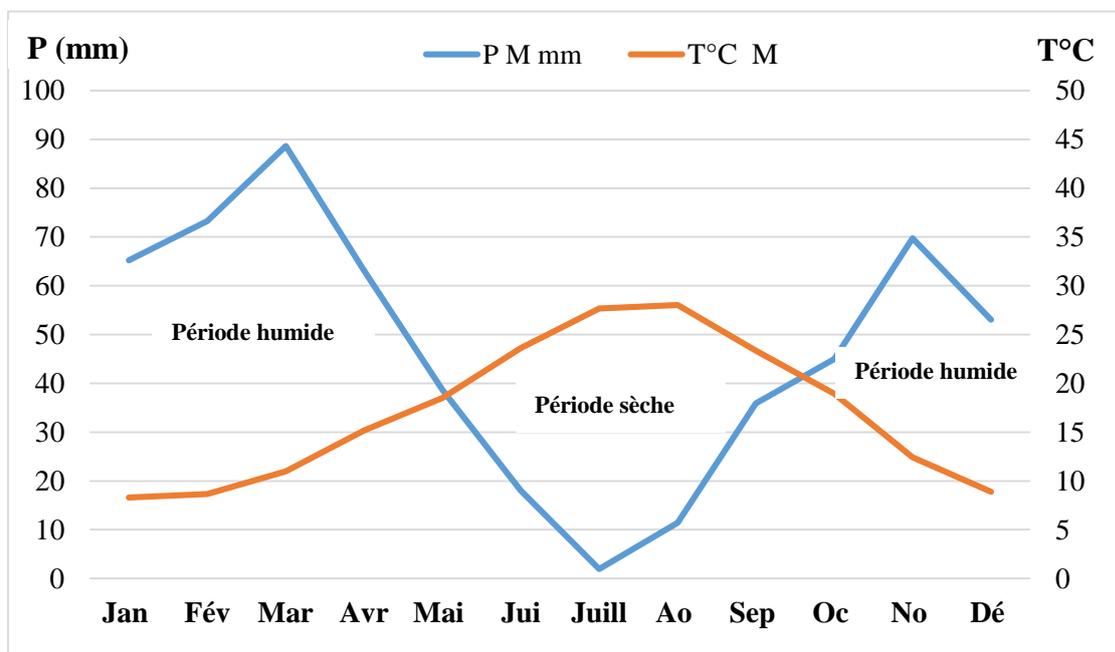
L'évaporation est assez importante, les mois de Juillet et Août représentent à eux seuls 60 % à 75 % de l'évaporation annuelle. La moyenne annuelle observée est de 1500 mm.

## I.7.3. Synthèse bioclimatique

### I.7.3.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

## Présentation de la zone d'étude

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec  $P = 2T$  (BENSEGHIR, 2006).



**Figure 01:** Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Bouira (Période 2007-2017).

D'après les données de précipitations et de températures moyennes mensuelles de la station de Bouira, le diagramme ombrothermique de cette région indique que la période de sécheresse commence au début du mois de mai jusqu'à la fin du mois de septembre.

### I.7.3.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Pour identifier le climat auquel se situe la région d'étude, on utilise le Climagramme d'EMBERGER. Ce Climagramme permet de situer une zone dans un étage bioclimatique, grâce au quotient pluviométrique d'EMBERGER ( $Q_2$ ) spécifique au climat méditerranéen. Ce quotient tient compte des précipitations et des températures. Il est déterminé, comme suit :

## Présentation de la zone d'étude

$$Q_2 = 2000 P/M^2 - m^2$$

$Q_2$  : le quotient pluviométrique d'Emberger ;

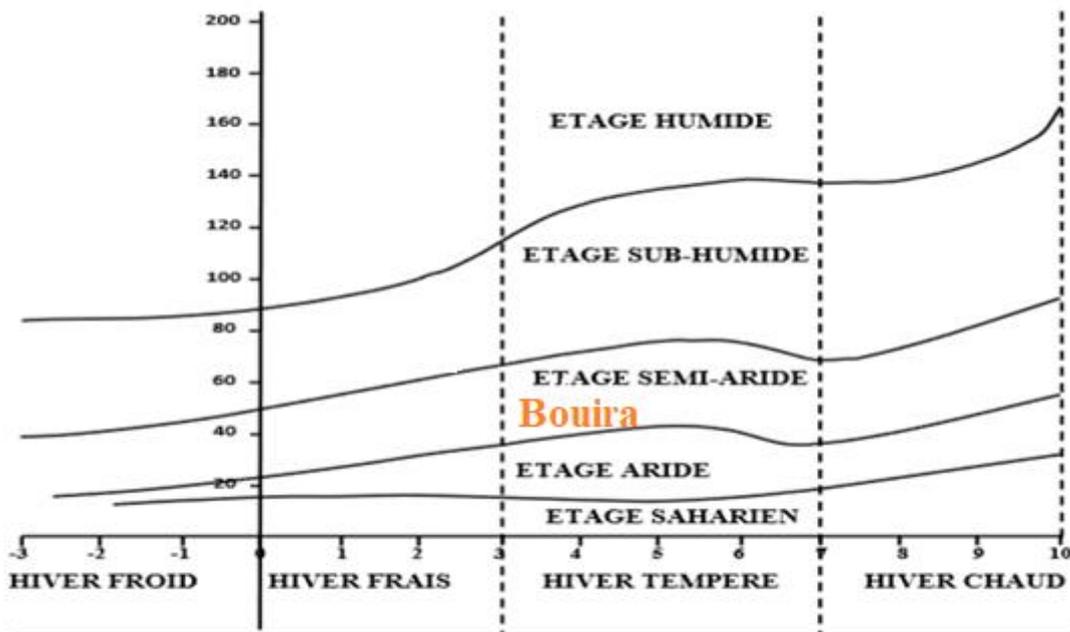
P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm ;

M : Moyenne maximale du mois le plus chaud en degrés Kelvin ;

m : Moyenne minimale du mois le plus froid en degrés Kelvin (**BENSEGHIR, 2006**).

**Tableau 06** : les Valeur du quotient pluviométrique d'EMBERGER de la station de Bouira

Paramètre	P (mm)	M (°K)	M (°K)	$Q_2$	Etage bioclimatique
Valeur	564.05	38.1	3.7	55.76	Semi-Aride



**Figure 02** : Situation de la région de Bouira au niveau du Climagramme d'Emberger.

Après application de la formule sur les données du **tableau 06**, nous obtenons la valeur de  $Q_2 = 55.76$ , pour cela notre zone d'étude se situe dans l'étage **Semi-Aride (Figure 02)**.

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

Le choix de conifère *Cupressus sempervirens* est lié à trois raisons essentielles ; il est largement réparti sur la zone d'étude de façon homogène, il contient des écailles pérennes qui sont utilisables tout au long de la période de végétation (GARREC *et al.*, 2008) et il est résistant aux conditions climatiques défavorables.

### II.1. Plan d'échantillonnage

À travers la zone industrielle de Sidi Khaled, l'échantillonnage a été effectué pendant une période de trois mois (Avril, Mai et Juin).

Au départ et pour couvrir la surface totale de la zone d'étude, on a choisi aléatoirement huit (8) 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 cinq (5) parmi les huit (8) stations prédéfinies. Les trois (3) autres stations sont écartées de l'étude car elles étaient complètement dépourvues des deux espèces (*Xanthoria Parietina* et *Cupressus Sempervirens*) (Figure 04).

Dans chaque station, les points d'échantillonnage sont sélectionnés selon la présence des espèces utilisées (*Xanthoria Parietina* et *Cupressus Sempervirens*).

À titre comparatif, on a choisi deux stations de référence, à savoir la station d'Errich et celle de Tikdjda.

Les données concernant les coordonnées géographiques de chaque station sont regroupées dans le (tableau 07)

### II.2. Stations d'échantillonnage

**Station 01 (SZ1) :** C'est une station très active se trouvant plus proche des activités industrielles, vu sa proximité à l'unité de production d'éponge industrielle du côté sud, ce qui fait que le couvert végétal est plus ou moins rare.

**Station 02 (SZ2) :** Cette station se localise à une dizaine de mètres de l'unité industriel de Métal Structure (la production de charpentes métalliques et la réalisation d'équipement de stockage d'eau et de carburant, les silos métalliques, les équipements de cimenterie), dans cette station la couverture végétale est faible.

**Station 03 (SZ3) :** C'est une station très urbanisée, où le couvert végétal est plus ou moins dense.

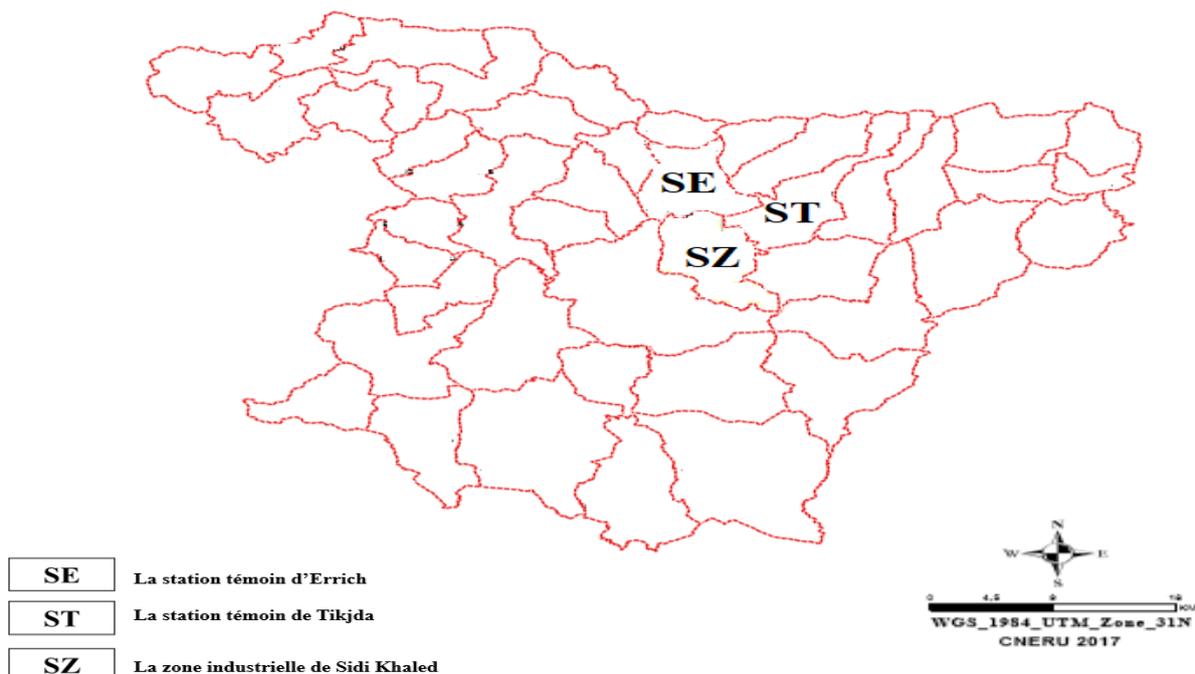
**Station 04 (SZ4) :** C'est une station située entre deux grandes unités industrielles ; l'usine de fabrication de polystyrène (Technisol) et l'usine de production d'emballages en plastique, où la couverture végétale est plus ou moins existante.

**Station 05 (SZ5) :** Cette station se localise à une faible distance de l'unité industrielle d'Afrique Bitume qui produit des matériaux de construction des routes (Asphalte, bitume et goudron). Cette station est caractérisée par la rareté de la couverture végétale.

**Station témoin de Tikjda (ST) :** Cette station est considérée comme une station de référence en raison de son éloignement à des sources de pollution, et caractérisée par une couverture végétale dense. Mais il n'existe pas d'écosystème idéal car les polluants peuvent être apportés par les mouvements de masses atmosphériques (**Figure 05**).

**Station témoin d'Errich (SE) :** C'est une station à forte densité de la couverture végétale (**Figure 06**).

L'illustration (**03**) montre le positionnement géographique des trois régions concernées par les stations où nous avons consacré nos études.



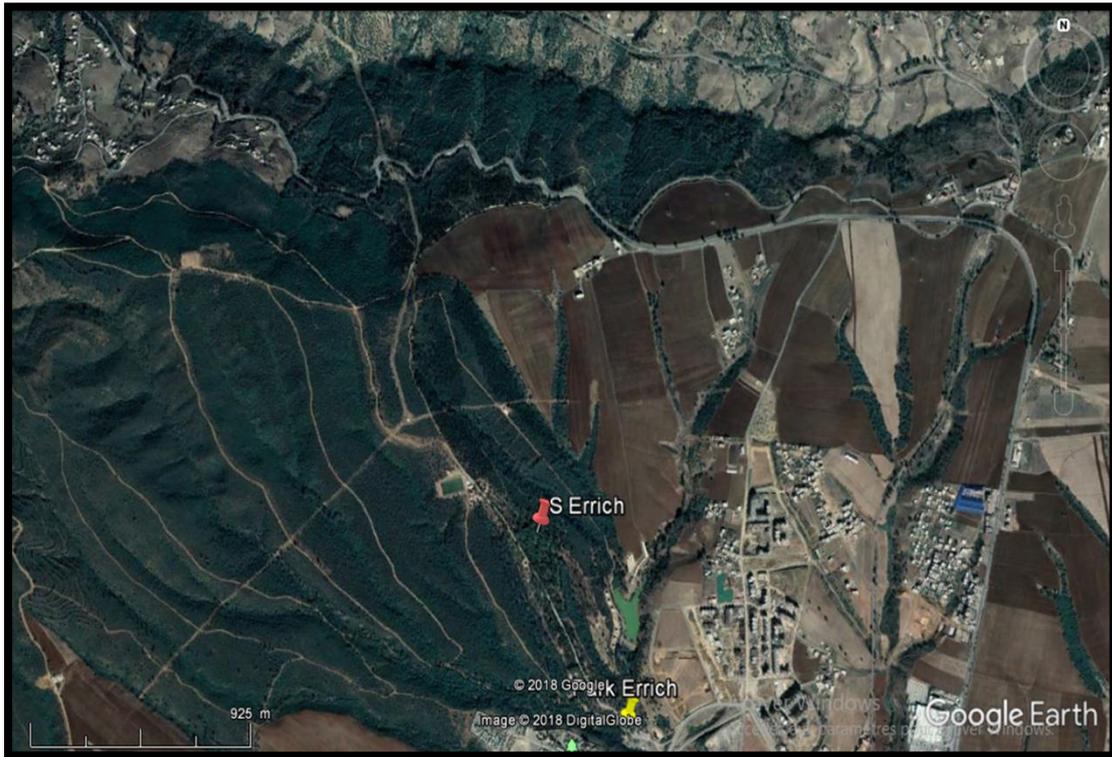
**Figure 03 :** La localisation géographique de la zone d'étude et les deux stations de référence (PDU, 2017).



**Figure 04 :** Illustration des stations de prélèvement de la zone industrielles de Sidi Khaled (1-5) en jaunes, et les stations écartées de (6-8) en rouge (**Google Earth, 2018**).



**Figure 05 :** Illustration de la station de Tikjda (ST) (**Google Earth, 2018**).



**Figure 06 :** Illustration de la station de prélèvement d'Errich (ST 2) en rouge (Google Earth ,2018).

**Tableau 07 :** Localisation et caractéristique des stations d'échantillonnage

<b>Site</b>	<b>Latitude N</b>	<b>Longitude E</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Type d'exposition</b>
<b>Station (S1)</b>	36° 17' 18,23"	3° 53' 10,23"	649	Industrielle
<b>Station (S2)</b>	36° 17' 38,91"	3° 53' 37,09"	626	Industrielle
<b>Station (S3)</b>	36° 17' 29,58"	3° 54' 15,12"	598	Industrielle
<b>Station (S4)</b>	36° 16' 55,57"	3° 54' 6 ,59"	632	Industrielle
<b>Station (S5)</b>	36° 16' 38,74"	3° 53' 32 ,84"	644	Industrielle
<b>Station Tikjda (ST1)</b>	36° 26' 50,95"	4° 07' 33 ,64"	1426	Rurale
<b>Station PND (ST2)</b>	36° 24' 37,25"	3° 52' 40,95"	614	Urbaine

### II.3. Techniques de prélèvement des échantillons

Dans cette partie, sont détaillées les différentes techniques de prélèvement selon l'espèce utilisée et la partie examinée.

#### II.3.1 Prélèvements des échantillons de *Xanthoria Parietina*

De 6 à 12 thalles sont prélevés sur au moins 3 à 6 oliviers et dans les quatre points cardinaux (Nord, Est, Sud et Ouest) de chaque station. Tous les prélèvements sont effectués le même jour, après une période de 20 jours sans pluie, à 1,5-2 m de hauteur sur le tronc à l'aide d'un couteau en céramique. Les échantillons prélevés ont été mis dans des sacs en papier et transportés dans une glacière (GARREC *et al.*, 2008).

#### II.3.2. Prélèvements des échantillons de *Cupressus Sempervirens*

Les prélèvements sont effectués sur un individu de Cyprès, à travers ses quatre points cardinaux (Nord, Est, Sud et Ouest). Tous les prélèvements sont effectués le même jour après 13 jours sans pluie. Ces prélèvements foliaires sont effectués à 2-3 mètres du sol au moyen d'un échenilloir où quelques rameaux externes sont récoltés sur tout le pourtour de l'arbre (10-20 feuilles).

Les prélèvements d'écorces sont effectués à la hauteur de la poitrine suivant les quatre points cardinaux. Ils ne concernent que quelques cm<sup>2</sup> sur chacun des quatre points du tronc, de façon à ne pas trop endommager celui-ci. Les échantillons prélevés ont été mis dans des sacs en papier et transportés dans une glacière (GARREC *et al.*, 2008).

#### II.3.3. Prélèvements des échantillons de sol

On a prélevé un échantillon pour chaque station concernée. Le prélèvement de ces échantillons a été fait à 5 cm de profondeur et mis dans des sacs en polyéthylène.

#### II.3.4. Conservations des échantillons

Une fois dans le laboratoire, les échantillons des sols ont été transférés dans des bouteilles en verre pour éviter l'adsorption par le plastique (AUGUSTO, 2010). Le temps de stockage était aussi bref que possible, et les échantillons ont été conservés à une température inférieure de 4°C.

##### II.3.4.1. Préparation des échantillons de sol avant l'analyse

Parmi les caractéristiques des HAP, leur semi-volatilité apparaît dans cette étape comme le facteur le plus critique. Le séchage et le tamisage des échantillons doivent être réalisés le plus soigneusement possible.

Les échantillons des sols ont été séchés, à l'étuve à une température inférieure à 40°C pendant 48 h. Puis ils ont été tamisés par un tamis à mailles (AUGUSTO, 2010) pour éliminer les gros fragments solides et les débris végétaux.

### II.4. Paramètres mesurés

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

#### II.4.1. Extraction des polluants

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

##### II.4.1.1. Technique d'extraction des HAP

L'extraction des HAP accumulés par *Xanthoria parietina*, les feuilles et les écorces de *Cupressus sempervirens*, et le sol a été effectuée à l'aide de l'extracteur Soxhlet de modèle (behrotest) (figure 07). Cette méthode d'analyse est largement utilisée pour n'importe quel échantillon saturé en hydrocarbure (FADEL, 2016).



Figure 07: l'extraction des HAP a l'aide de Soxhlet

## Matériels et Méthodes

10 g de chaque échantillon ont été placés dans une cartouche en cellulose, préalablement nettoyée avec l'acétone. Les échantillons sont extraits avec un mélange de 100 ml d'acétone, et 100 ml d'hexane pendant 2 à 3 h, avec **(03 répétitions)**.

Après 3 heures d'extraction, les creuset de soxhlet ont été passés au bain marie à 90°C pour l'évaporation des solvants (**Figure 08**), puis ils ont été mis à l'étuve pour le séchage des hydrocarbures, puis ils ont été mis dans un dessiccateur de silice, après l'élimination de l'humidité les extraits ont été pesé par une balance de précision jusqu'à un point constant (**FADEL, 2016**).



**Figure 08:** l'évaporation des solvants au bain-marie

Les concentrations en hydrocarbures totaux sont déterminées de manière indirecte selon la formule suivante :

$$P(\text{HCt}) = (\text{Pcp} - \text{Pcv} / \text{Pe}) * 10^6$$

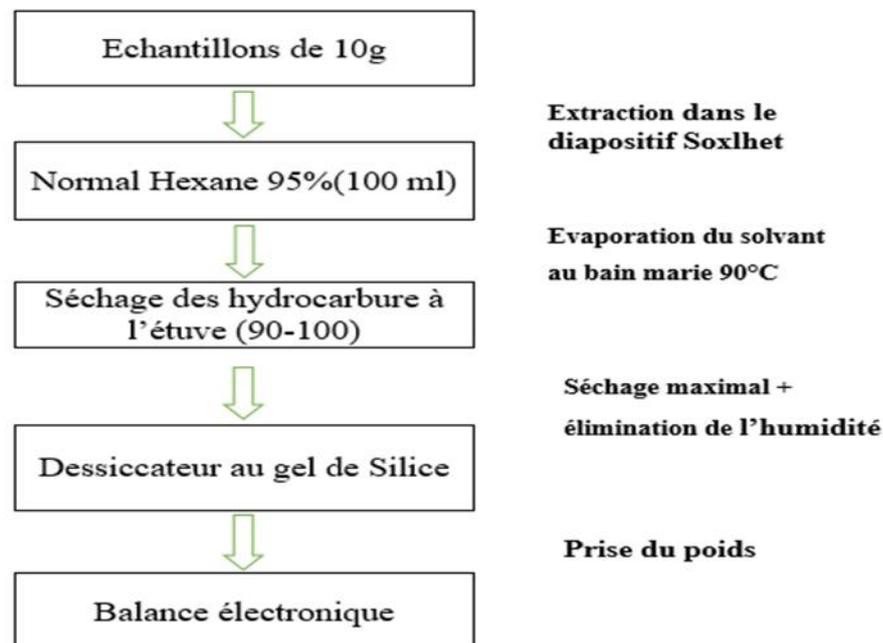
P (HCt): poids des hydrocarbures totaux en  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

Pcp : poids du creuset plein

Pcv : poids du creuset vide

Pe : poids de l'échantillon

La procédure expérimentale de la (**figure 09**) fait ressortir toutes les étapes nécessaires à l'extraction des hydrocarbures avant de déterminer leurs concentrations



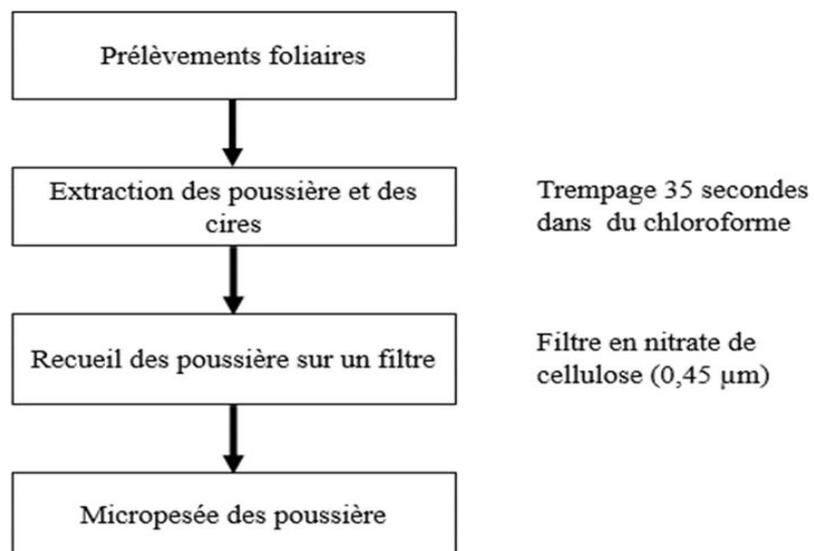
**Figure 09** : Schéma du protocole expérimental pour l'extraction des HAP

### II.4.1.2. Technique d'extraction des poussières et des cires

L'extraction des poussières et des cires, est obtenue par l'utilisation de 10 g de matériel frais, les échantillons sont extraits au moyen d'un solvant qui le chloroforme (**Figure 10**) (**GARREC *et al.*, 2008**). La procédure expérimentale (**Figure 11**) fait ressortir toutes les étapes nécessaires à l'extraction des poussières.



**Figure 10 :** Extraction de la poussière foliaire par le Chloroforme



**Figure 11 :** Schéma du protocole expérimental pour l'analyse des poussières accumulées sur les surfaces foliaires

### II.4.2. Paramètres physiologiques

Les perturbations physiologiques des plantes sont variées et sont observables, selon la nature du polluant, pour connaître ces perturbations on a choisi les biomarqueurs les plus significatifs de ces perturbations à savoir la chlorophylle et la proline.

### II.4.2.1. Dosage de la chlorophylle

Nous avons utilisé la méthode établie par Holden (1965) pour l'extraction de la chlorophylle. Le traitement de tous les échantillons se fait comme suit :

On pèse 1g de matière fraîche coupées en petits morceaux et qu'on broie dans un mortier avec 20 ml d'acétone à 80% (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>) et une pincée de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>).

Après broyage total, la solution est filtrée et conservée à l'obscurité dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière (**Figure 12**). Le dosage se fait par un prélèvement de 3 ml de la solution dans la cuve à spectromètre, ce dernier est de type «EZ Swing 3k » à deux longueurs d'onde ( $\lambda_1 = 645$  et  $\lambda_2 = 663\text{nm}$ ) (**SEMADI, 2010**).

Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

Chl a:  $12,7 (\text{DO } 663) - 2,69 (\text{DO } 645)$ .

Chl b:  $22,9 (\text{DO } 645) - 4,86 (\text{DO } 663)$ .

Chl a+ b:  $8,02 (\text{DO } 645) + 20,20 (\text{DO } 663)$ .



**Figure 12** : Conservation des solutions obtenues après l'extraction de la chlorophylle

### II.4.2.2. Dosage de la proline

Le dosage de la proline est réalisé selon la méthode de Monneveux et Nemmar (1986). Le principe de la méthode consiste à prendre 100mg de matière fraîche ; le couper en petit morceaux puis l'introduire dans un tube à essai ; ajoute ensuite 3 ml de méthanol à 80% et chauffer le mélange au bain-marie à la température de 85°C pendant 1 heure.

## Matériels et Méthodes

On procède ensuite au refroidissement : on prélève 1 ml de la solution, auquel on ajoute 1ml d'acide acétique et 1ml d'un mélange contenant : (120 ml d'eau distillée ; 300 ml d'acide acétique, 80ml d'acide orthophosphorique); on ajoute enfin 25mg de ninhydrine.

La solution est portée à ébullition pendant 30 min jusqu'à la coloration en rouge ; on refroidit la solution puis on ajoute 5 ml de toluène est on procède à l'agitation du mélange ; deux phases se séparent (**Figure 13**) :

Phase supérieure contenant la proline et une phase inférieure dépourvue de proline. On aspire la phase supérieure et on procède à sa déshydratation grâce à l'introduction du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . On dose ensuite les échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre (EZ Swing 3k) à la longueur d'onde de 528 nm.



**Figure 13** : La séparation des deux Phase : supérieure contenant la proline et une phase inférieure dépourvue de proline.

La courbe d'étalonnage présentée en (**annexe 1**), est obtenue grâce à un mélange (acide acétique, eau distillée, acide orthophosphorique et ninhydrine) ;

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

### II.5. Analyse statistique des résultats

Les données obtenues pour chaque paramètre, ont été interprétées statistiquement au moyen de l'analyse de la variance à un facteur, cette méthode permet de comparer les moyennes de chaque paramètre des différentes stations, direction et compartiments. Nous avons pris connaissance des différences entre les stations par le test de Tukey. En utilisant le logiciel « R36 »

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

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

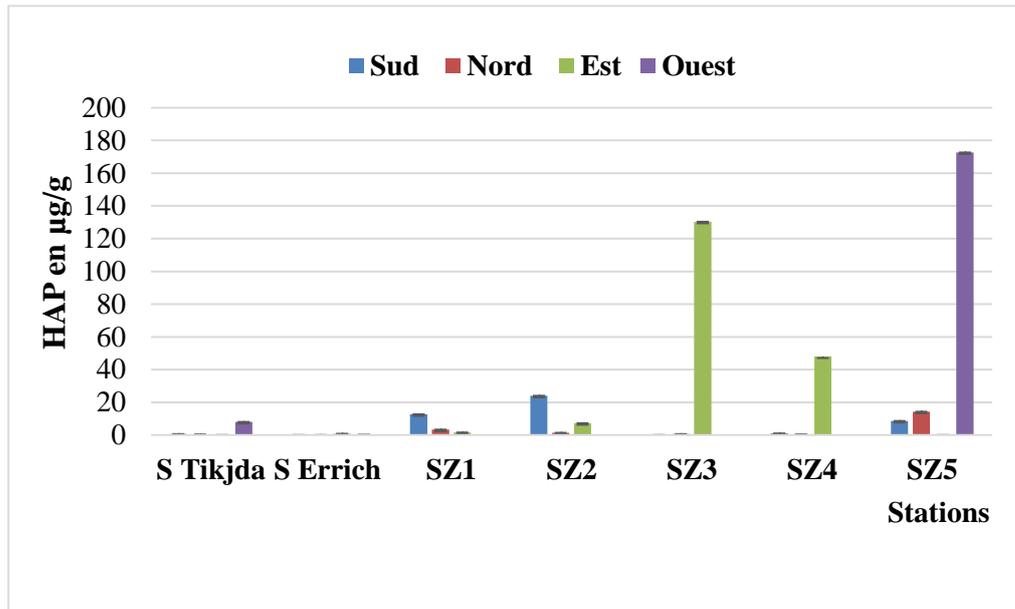
### III.1.Évaluation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

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

#### III.1.1. L'accumulation des HAP par *Xanthoria parietina*

La **figure 14** illustre les résultats de l'accumulation spatiale des HAP chez *Xanthoria Parietina*.

D'après les résultats représentés sur l'histogramme, on remarque une nette variation des concentrations en HAP dans les cinq stations (SZ1-SZ5) et les directions par rapport aux deux stations de référence (S Tikjda –S Errich). Comme on a constaté l'absence des HAP aux niveaux des stations S Tikjda, S Errich, SZ3 respectivement à la direction Est, Sud, Est. Cependant on a enregistré une valeur non négligeable des HAPs de l'ordre de  $(8 \pm 0.005 \mu\text{g}/\text{kg})$  au niveau la S Tikjda à la direction Ouest.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled.

**Figure 14** : Variation spatiale des HAP en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  accumulés par *Xanthoria parietina* en fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018).

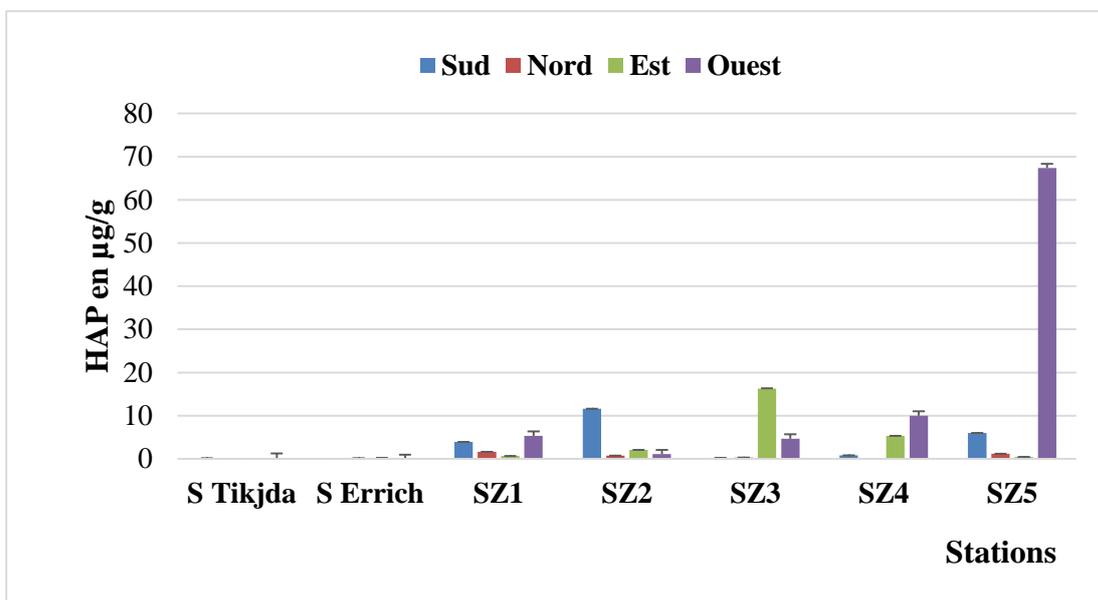
La valeur la plus élevée des HAPs est enregistré à la station SZ5 du côté Ouest ( $172.66 \pm 0.02 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). Cette valeur est 25 fois plus élevée que la teneur enregistrée à la direction ouest de la S Tikjda ( $8 \pm 0.005 \mu\text{g}/\text{kg}$ ).

L'analyse de la variance (ANOVA) permet de mettre en évidence un effet hautement significatif des directions sur l'accumulation des HAP ( $p=0.0004$ ) \*\*\*, et un effet significatif des stations sur l'accumulation des HAP ( $p= 0.017$ )\* (**annexe 2**).

La comparaison de toutes les paires de moyenne possibles avec le test de Tukey, a donné une différence très hautement significative de l'ordre de ( $p<0.0001$ ) \*\*\* entre les stations de référence (S Tikjda et S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

### III.1.2. L'accumulation des HAP par *Cupressus sempervirens*

La **figure 15** illustrant les résultats de l'accumulation spatiale des HAP par les écailles de *Cupressus Sempervirens*, on remarque que les résultats représentés à l'échelle de chaque station montrent que les concentrations en HAP sont généralement variables en fonction des stations et des directions. Comme on constate que la teneur en HAP chez les écailles de *Cupressus Sempervirens* suit la même tendance que celle de lichen *Xanthoria Parietina*. Ainsi le test de l'ANOVA a fourni une différence significative dans les moyennes calculées à partir des concentrations des HAP accumulés par les écailles de ce conifère de chaque station ( $p=0.04$ )\*.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 15** : Variation spatiale des HAPs en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  accumulés par les feuilles de *Cupressus sempervirens* en fonction des stations de prélèvement à la ville de Bouira en période printanière de 2018.

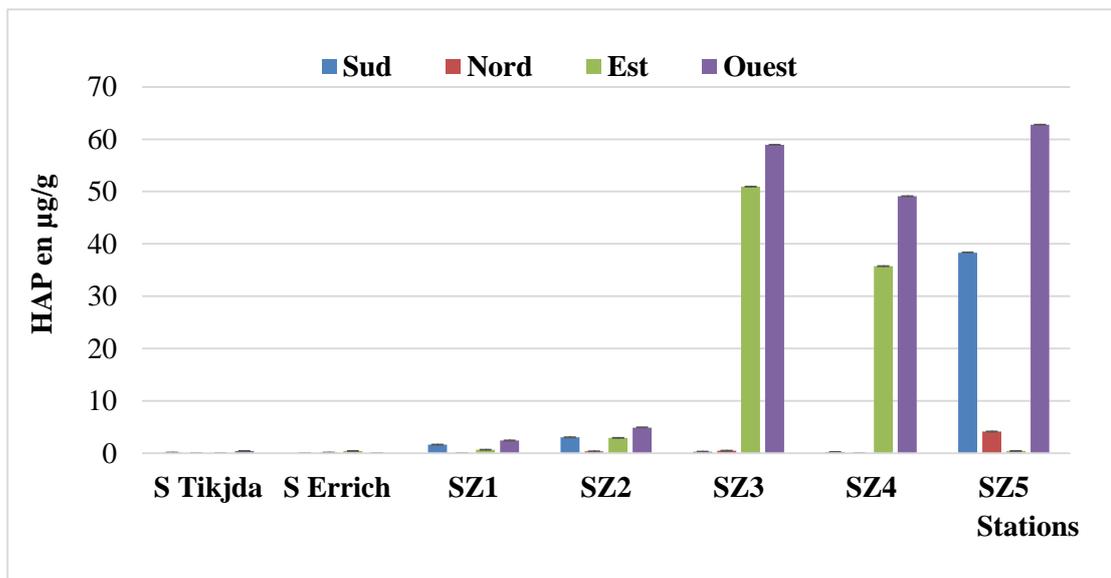
La station SZ5 enregistre une concentration plus importante du côté Ouest de l'ordre de  $(67.36 \pm 0.02 \mu\text{g}/\text{kg})$  qui est 280 fois plus élevée que la valeur enregistré à la S Tikjda à la direction ouest  $(0.24 \pm 0.0003 \mu\text{g}/\text{kg})$ . Quant aux stations témoins (S Tikjda et S Errich) la teneur est non existante de côté Sud, Nord et Est.

L'analyse de la variance permet de mettre en évidence un effet significatif des stations et des directions sur l'accumulation des HAPs dont les valeurs sont  $(p=0.03)$ \*,  $(p=0.02)$ \* respectivement. Et le test de Tukey nous a donné une différence très hautement significative

de l'ordre de ( $p < 0.001$ ) \*\*\* entre les stations témoins (S Tikjda-S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

### III.1.3. L'accumulation des HAP par les écorces de *Cupressus sempervirens*

Les résultats obtenus de l'extraction des HAP des écorces de *Cupressus Sempervirens* indiquent des variations bien distinctes entre les stations et les directions de prélèvement. On remarque une nette variation des concentrations en HAP dans les cinq stations et les directions (SZ1-SZ5) par rapport aux deux stations de référence (S Tikjda –S Errich).



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 16** : Variation spatiale des HAPs en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  accumulés par les écorces de *Cupressus sempervirens* en fonction des stations de prélèvement à la ville de Bouira en période printanière de 2018.

L'histogramme de la **figure 16** montre que les teneurs des HAP accumulés par les écorces de cyprès est constamment différente de la teneur accumulée par leurs écorces ( $p=0.001$ ) \*\*, cela se traduit par une augmentation de cette teneur au niveau des stations (SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5), et une diminution de cette concentration au niveau de la station (SZ1).

La teneur la plus élevée est enregistré à la station SZ5 de côté Ouest par une valeur de  $(62.76 \pm 0.003 \mu\text{g}/\text{kg})$  qui est de 155 fois plus élevé que la valeur enregistrée à la direction ouest de la

## Résultats et discussions

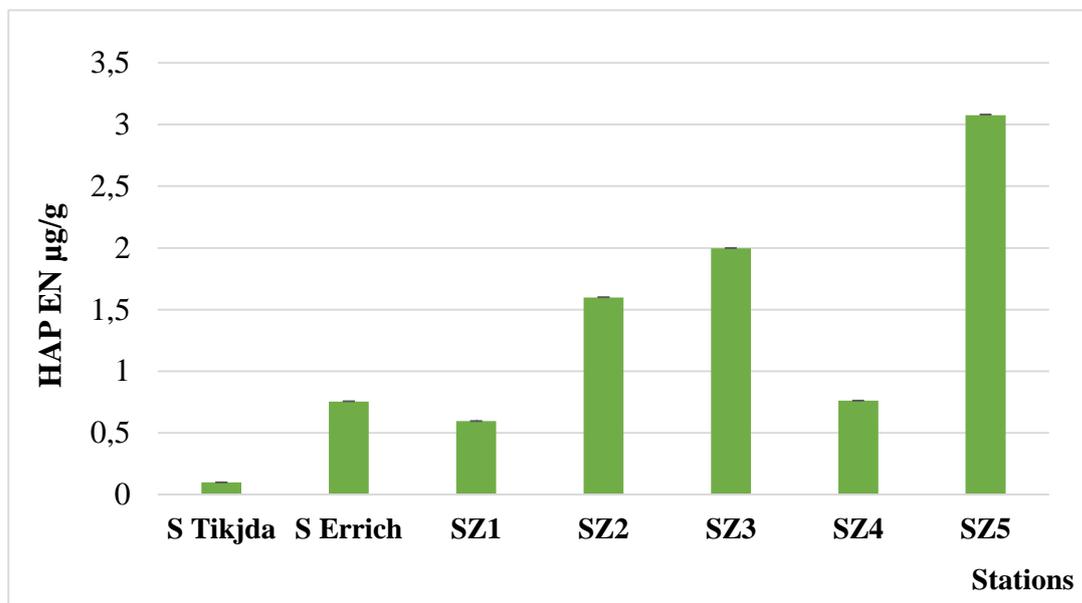
S Tikjda ( $0.4 \pm 0.0005 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). Les deux stations de référence (S Tikjda- S Errich) n'enregistrent aucune teneur de côté Est, Nord et Ouest.

L'ANOVA appliquée sur les données de cette partie de travail a permis de mettre en évidence un effet très significatif des directions ( $p=0,003$ ) \*\* et hautement significatif des stations ( $p=0.0003$ ) \*\*\* sur l'accumulation des HAP.

Pour compléter le test de l'ANOVA et pour tester deux à deux chaque station d'étude avec les deux stations de référence, on a utilisé le test de Tukey qui indique toujours des différences hautement significatives ( $p<0.001$ ) entre les stations de référence (S Tikjda –S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

### III.1.4. L'accumulation des HAP par le Sol

L'histogramme de la **figure 17** montrent une variation dans les concentrations relatives des HAP accumulées selon les stations. Les teneurs des HAPs accumulées par le sol sont plus importantes au niveau de la station SZ5 et SZ3 et sont respectivement de l'ordre de  $(3.07 \pm 0.003, 1.99 \pm 0.002 \mu\text{g}/\text{kg})$ . Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des deux stations de référence. Ainsi la moyenne des concentrations enregistrées au niveau de la station S Tikjda est de  $(0.099 \pm 0.0001 \mu\text{g}/\text{kg})$  par contre celle enregistrée à la station S Errich, elle est de  $(0.75 \pm 0.002 \mu\text{g}/\text{kg})$ .



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 17 :** Variation spatiale des HAPs en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  accumulés par le sol en fonction des stations de prélèvement à la ville de Bouira en période printanière de 2018.

## Résultats et discussions

L'ANOVA appliquée pour l'analyse des données obtenues dans cette partie d'évaluation des HAP par le sol montre une différence très significative ( $p=0.001$ ) \*\* entre les stations en terme d'accumulation des HAP.

En appliquant le test de Tukey sur les mêmes données des HAP dans le sol et en examinant les p-values calculées par le logiciel (R36) et qui sont toutes inférieures 0.0001, on a constaté des différences très hautement significatives entre la station S Tikjda et les cinq stations de la zone industrielle tandis que les résultats de ce test montrent une différence non significative entre la station S Errich et les stations SZ1 ( $p=0.07$ ) et SZ4 ( $p=0.09$ ).

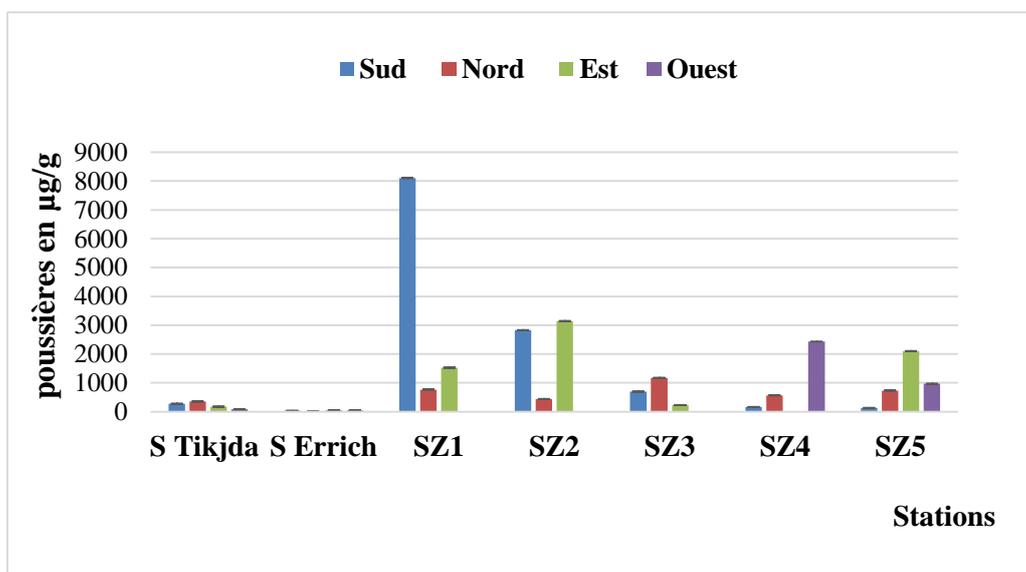
On a constaté aussi une différence très significative ( $p=0.004$ ) \*\* entre les stations de référence (S Tikjda) et (S Errich).

### III.2. Évaluation de l'accumulation des Poussières

L'extraction des poussières été effectués sur le thalle de *Xanthoria parietina*, ainsi, que les écailles et les écorces de *Cupressus sempervirens*.

#### III.2.1. Accumulation des poussières par les thalles de *Xanthoria parietina*

Les résultats de l'accumulation spatiale des poussières chez les thalles de *Xanthoria Parietina*, illustrés par la **figure 18** montrent une nette variation dans la quantité de poussière accumulée par *Xanthoria Parietina* selon les stations et les directions. Elle est plus ou moins faible dans toutes les stations à part les deux stations SZ1 et SZ2 où on a enregistré des quantités plus importantes.



## Résultats et discussions

Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 18** : Variation spatiale des poussières en  $\mu\text{g/g}$  accumulés par *Xanthoria Parietina* en fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018).

En effet, la quantité la plus élevée, de  $(8100 \pm 0.34 \mu\text{g/g})$ , est enregistrée du côté Sud de la station SZ1 et qui est 2334 fois plus élevée que la valeur moyenne  $(3.47 \pm 0.0005 \mu\text{g/g.})$  enregistrée au niveau de la direction nord de la S Errich.

Les plus faibles valeurs enregistrées au niveau des stations (S Tikjda, SZ3, SZ4, SZ5) varient entre  $3.47 \mu\text{g/g}$  et  $166.667 \mu\text{g/g}$ .

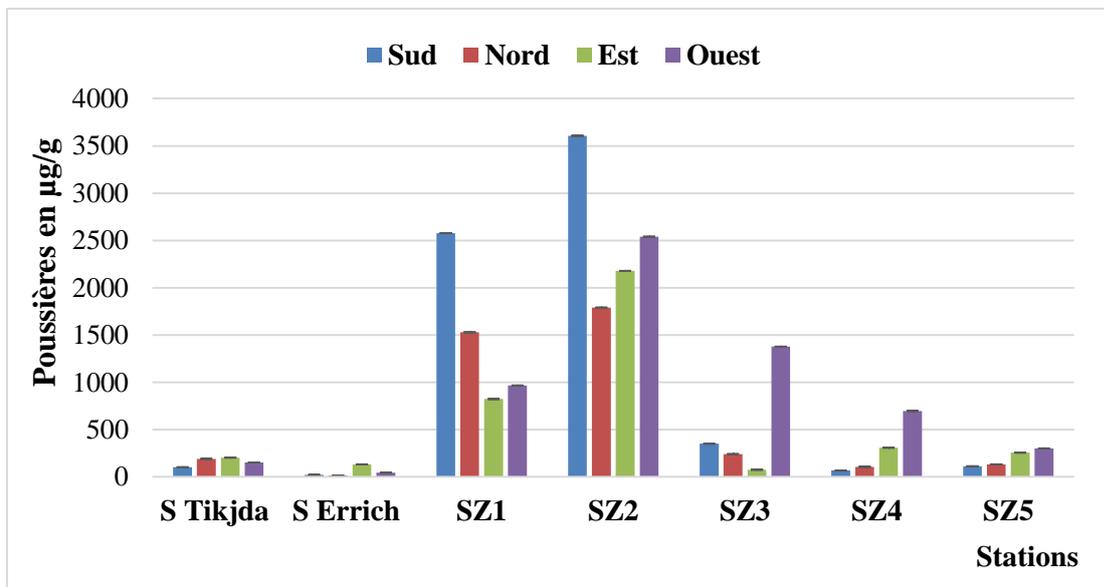
Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'ANOVA qui montre l'existence d'une différence très hautement significative ( $p=0.00009$ ) \*\*\* des poussières entre les stations et un effet significatif entre les directions ( $p= 0.036$ )\*.

Le test de Tukey nous a donné une différence hautement significative ( $p<0.001$ ) \*\*\* entre S Errich et SZ1 et une différence très significative entre S Tikjda et SZ1 ( $p=0.0021$ ) \*\*.

## Résultats et discussions

### III.2.2. L'accumulation des poussières par les écailles de *Cupressus sempervirens*

D'après la **figure 19**, les résultats obtenus de l'extraction des poussières accumulées par les écailles de *Cupressus Sempervirens* indiquent des variations bien distinctes entre les stations et les directions de prélèvement. Ces quantités de poussières accumulées par les écailles de cyprés sont constamment différentes des teneurs accumulées par le lichen *Xanthoria Parietina*. Le test de Student donne une p-value de l'ordre de (0.001) \*\*.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 19** : Variation spatiale des poussières en  $\mu\text{g/g}$  accumulées par les feuilles *Cupressus sempervirens* en fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018).

On remarque une nette variation des quantités des poussières entre les stations de la zone industrielle (SZ1-SZ5) et les deux stations témoins (S Tikjda-S Errich). Quant à la valeur la plus élevée ( $3606.667 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$ ), elle est enregistrée, au côté Sud de la station SZ2. Elle est 277 fois plus grande que la valeur enregistrée au niveau de la direction nord de la S Errich. La plus faible valeur de ( $13.66 \mu\text{g/g} \pm 0.0005$ ) est enregistrée au Sud de la station Errich.

L'ANOVA permet de mettre en évidence un effet très hautement significatif des stations ( $p=0,0000009$ ) \*\*\*, et un effet non significatif des directions ( $p=0.71$ ) sur l'accumulation des poussières.

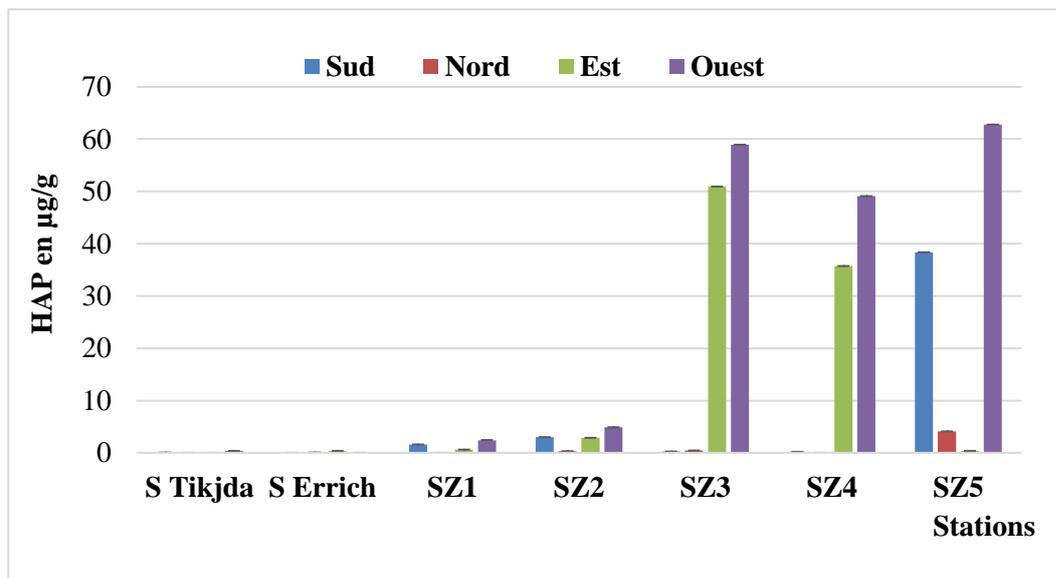
Avec le test de Tukey, on a obtenu des différences hautement significatives, toujours ( $p<0.001$ ) \*\*\* entre (S Tikjda –S Errich) et la station SZ2.

On a trouvé aussi une différence hautement significative entre SZ2 et SZ4 ( $p<0.001$ ) \*\*\*.

## Résultats et discussions

### III.2.3. L'accumulation des poussières par les écorces *Cupressus sempervirens*

D'après la **figure 20**, les résultats obtenus par l'extraction de la poussière des écorces de cyprès indiquent des variations nettes entre les stations.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 20** : Variation spatiale des poussières accumulées par les écorces de *Cupressus sempervirens* en fonction des stations de prélèvement dans la région de Bouira (Printemps 2018).

On a constaté que la quantité accumulée par les écorces varie de la même façon avec la variation de la quantité accumulée par le lichens *Xanthoria pareitina*, du fait qu'on a enregistré une augmentation de cette quantité de  $43631.67 \pm 0.42 \mu\text{g/g}$ , du côté Sud de la station SZ1 et qui est de 2077 fois plus élevée que la valeur enregistrée au niveau de la direction Ouest de la S Errich. La valeur la plus faible de  $21.34 \pm 0.004 \mu\text{g/g}$ , est observée à la station au niveau de la direction Ouest de la S Errich .

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'ANOVA qui montre l'existence d'une différence significative ( $p=0.03$ )\* des poussières entre les stations et un effet non significative entre les directions ( $p= 0.19$ ).

Le test de Tukey a donné des différences hautement significatives ( $p<0.001$ ) entre (S Tikjda-S Errich) et les stations (SZ1-SZ2) et SZ1 d'un côté et entre SZ1 et SZ5 ( $p=0.0002$ ) \*\*\* de l'autre côté.

### III.3. Paramètres physiologiques

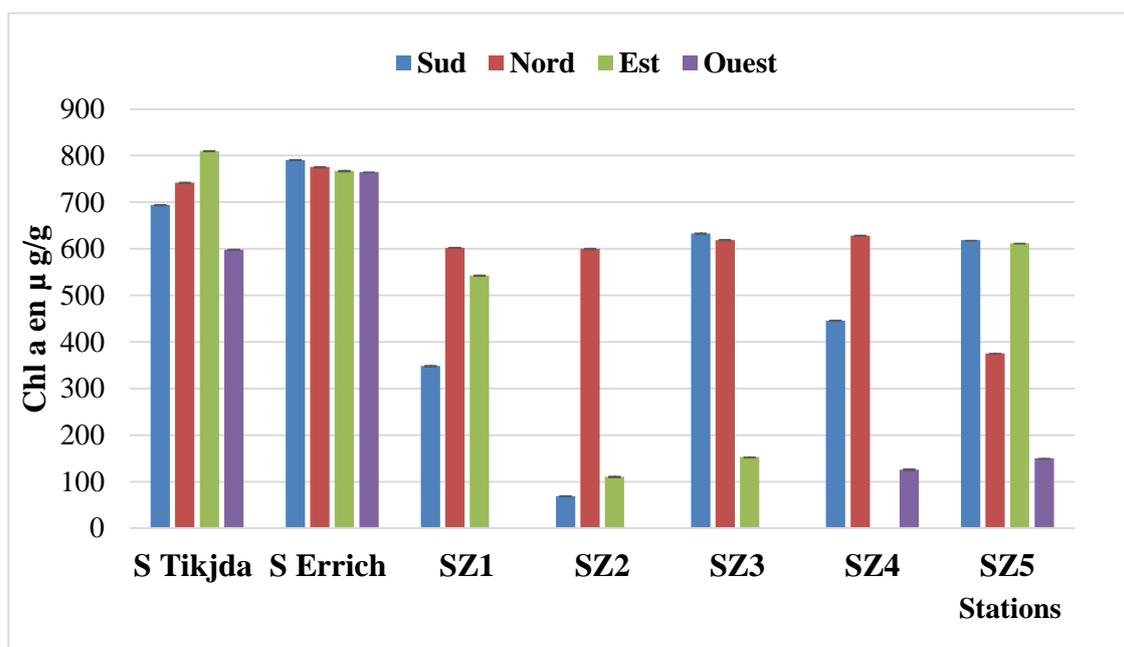
Pour connaître le lien entre les polluants accumulés et l'état physiologique des deux espèces étudiées, nous avons réalisé le dosage de la Chlorophylle (Ch. a, Ch. b et Ch. ab) et la proline.

#### II.3.1. Dosage de la Chlorophylle

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

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

Comme le montre la **figure 21**, la teneur en chlorophylle (a) varie en fonction des stations de prélèvement. On remarque des faibles teneurs en la chlorophylle (a) au niveau des cinq stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle par rapport aux deux stations de référence.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 21** : Variation de la teneur en chlorophylle a ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria Parietina* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

On a enregistré des valeurs plus ou moins faibles dont la plus faible est de l'ordre de ( $68.86 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ ) au niveau de la direction Sud de la station SZ2. La valeur la plus élevée, de ( $810 \pm 0.005 \mu\text{g/g}$ ) est représentée par la station S Tikjda (direction Est).

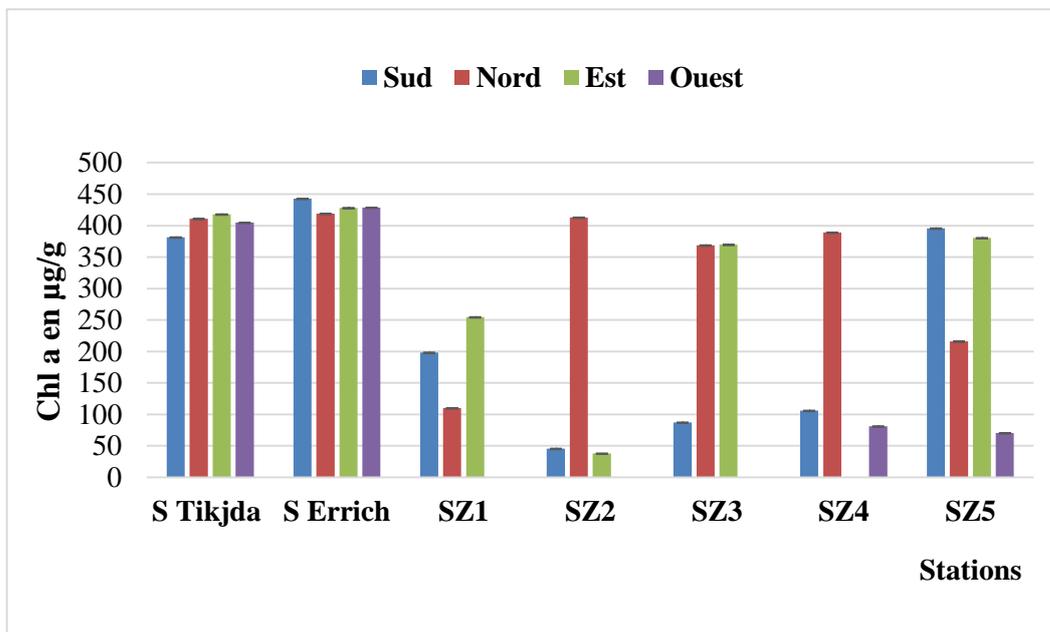
## Résultats et discussions

L'ANOVA a donné des différences très hautement significatives ( $p < 0.000001$ ) \*\*\*\* pour la chlorophylle (a) entre les stations et une différence hautement significative entre les directions ( $p = 0.001$ ) \*\*.

Le test de Tukey a donné une différence hautement significative de l'ordre de ( $p < 0.001$ ) \*\*\* entre les stations témoins (S Tikjda- S Errich) et les stations (SZ1-SZ5).

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

La **figure 22**, représente les résultats obtenus concernant les effets des poussières et des HAP sur les teneurs moyennes en chlorophylles (b) de lichens *Xanthoria Parietina*.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 22** : Variation de la teneur en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria Parietina* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

La teneur en chlorophylle (b) varie en fonction des stations et des directions de prélèvement. On constate que les taux de la chlorophylle (b) enregistrés au niveau des stations de référence sont stables et avoisinant, pour lesquels la valeur la plus élevée ( $443.04 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ ) est représentée par la station S Errich dans sa direction Sud, et la valeur la moins signifiante ( $38.06.86 \pm 0.0001 \mu\text{g/g}$ ) est trouvée au niveau la direction Est de la station SZ2.

## Résultats et discussions

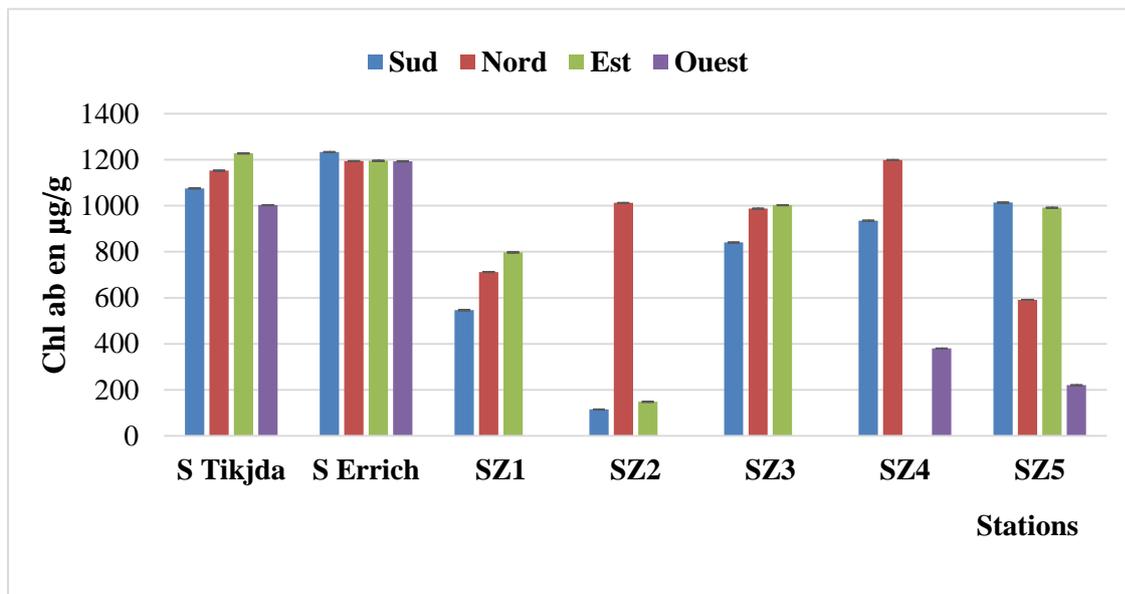
L'ANOVA a montré des différences très hautement significatives ( $p < 0.000000002$ ) \*\*\*\* pour la chlorophylle(b) entre les stations, et des différences significatives ( $p = 0.022$ )\* entre les directions.

Avec le test de Tukey ont a trouvé une différence très hautement significative ( $p < 0.0001$ ) \*\*\* entre les stations (S Tikjda-S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

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

D'après la **figure 23**, ci-dessous, les résultats obtenus du dosage de la chlorophylle (ab) indiquent des variations bien distinctes entre les stations, et les directions. On a remarqué que la teneur de la chlorophylle (ab) est constamment invariable par rapport à la chlorophylle (a) et (b).

La moyenne maximale, de  $1234.02 \pm 0.006 \mu\text{g/g}$ , est enregistrée à la direction Sud de la (S Errich), la valeur minimale ( $114.50 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ ) est enregistrée à la direction Sud de la SZ2.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled.

**Figure 23** : Variation de la teneur en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria parietina* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'analyse de la variance qui montre l'existence d'une différence très hautement significative ( $p = 0.00000016$ ) \*\*\*\* de la chlorophylle (ab) entre les stations et une différence significative entre les directions ( $p = 0.01$ )\*.

## Résultats et discussions

Le test de Tukey nous a donné une différence hautement significative de l'ordre de ( $p < 0.001$ ) \*\*\* entre les stations (S Tikjda- S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

### III.3.2.1. Dosage de la Chlorophylle (Ch. a) chez *Cupressus Sempervirens*

La teneur en chlorophylle (a) varie entre les stations et les directions de prélèvement (**figure 24**). On remarque une diminution de la chlorophylle (a) au niveau des cinq stations de la zone industrielle par rapport au deux stations témoin.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 24** : Variation de la teneur en chlorophylle a ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Cupressus Sempervirens* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

On a enregistré la valeur la plus élevée ( $736.32 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$ ) au niveau de la station S Errich à la direction Sud. Concernant la plus faible valeur enregistrée ( $203.20 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ ), elle est représentée par la direction Ouest de la station SZ5.

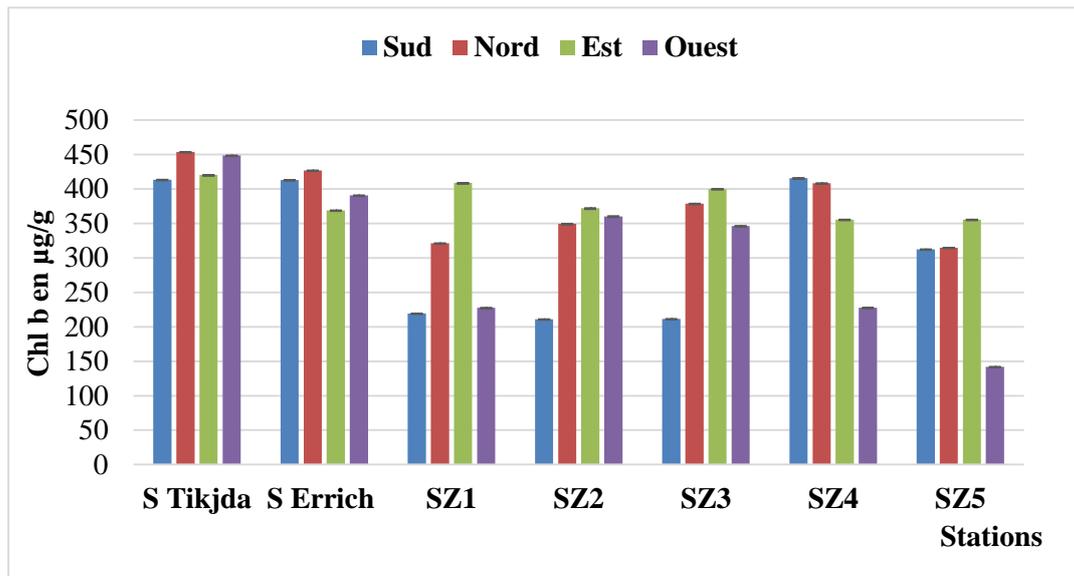
L'ANOVA a donné des différences très hautement significatives ( $p < 0.0000002$ ) \*\*\* pour la chlorophylle (b) entre les stations, et des différences hautement significatives ( $p = 0.001$ ) \*\* entre les directions. Et le test de Tukey nous a donné une différence significative de l'ordre de ( $p = 0.01$ ) \* entre les stations témoins (S Tikjda-S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

## Résultats et discussions

### III.3.2.2. Dosage de la Chlorophylle (Ch. b) chez *Cupressus sempervirens*

Comme la teneur en chlorophylle (a), celle de la chlorophylle (b) montre une variation entre les stations et les directions de prélèvement (**figure 25**). On remarque une fluctuation de la chlorophylle (b) au niveau des cinq stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle en les comparant aux deux stations de référence.

On a enregistré la valeur la plus élevée, de  $453.75 \pm 0.005 \mu\text{g/g}$ , au niveau de la direction Nord de la station S Tikjda. La plus faible valeur de  $142.18 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$  est représentée par la direction Ouest de la station SZ5.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 25 :** Variation de la teneur en chlorophylle b ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Cupressus Sempervirens* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

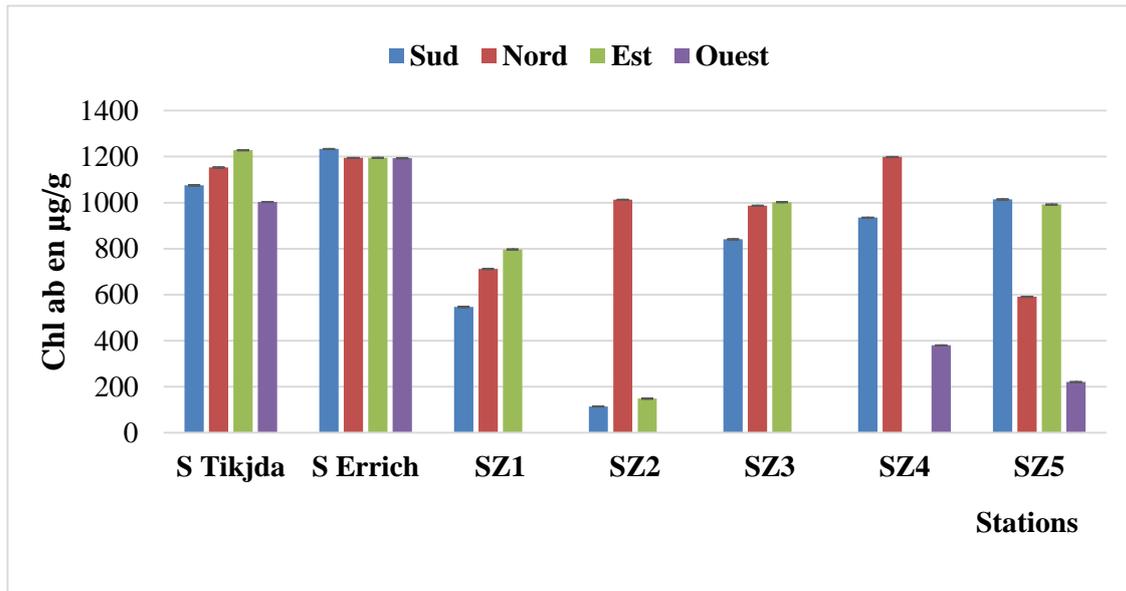
L'Analyse de la variance de la chlorophylle (b) a donné des différences très hautement significatives entre les stations ( $p=0.0001$ ) \*\*\* et les directions ( $p=0.0005$ ) \*\*\*.

La comparaison des cinq stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle avec (S Tikjda- S Errich), deux à deux, en utilisant le test de Tukey a donné une différence significative de ( $p=0.01$ ) \*

## Résultats et discussions

### III.3.2.3. Dosage de la Chlorophylle (Ch. ab) chez *Cupressus Sempervirens*

D'après la **figure 26**, les résultats obtenus du dosage de la chlorophylle (ab) indiquent des variations bien distinctes entre les stations et les directions. Nous avons constaté que la teneur de la chlorophylle (ab) est constamment invariable que la chlorophylle (a) et (b). La moyenne maximale ( $1178.80 \pm 0.005 \mu\text{g/g}$ ) est enregistrée au niveau de la S Tikjda dans sa direction Ouest et la valeur minimale de ( $345.39 \pm 0.002 \mu\text{g/g}$ ) est enregistrée à SZ5 à la direction Ouest.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 26** : Variation de la teneur en chlorophylle ab ( $\mu\text{g/g}$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Cupressus sempervirens* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'analyse de la variance qui montre l'existence d'une différence très hautement significative entre les stations ( $p=0.0000002$ ) \*\*\*\* et une différence très significative ( $p=0.001$ ) \*\* entre les directions concernant la chlorophylle ab. Parmi toutes les paires de données testé avec le test Tukey, ce sont les stations SZ1 et SZ5 de la zone industrielle, qui montrent des différences très significative ( $p<0.01$ )\* avec les stations de référence (S Tikjda- S Errich).

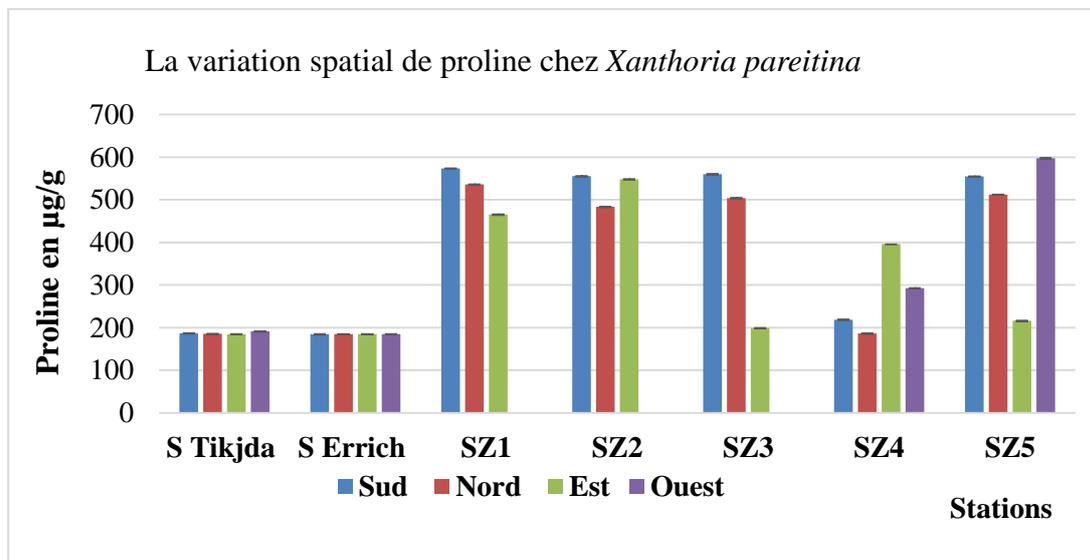
## Résultats et discussions

### III.3.3. Dosage de la proline

Le dosage de la proline a été réalisé sur les écailles de *Cupressus Semperviren* et le thalle de *Xanthoria Parietina*.

#### III.3.3.1. Dosage de la proline chez *Xanthoria parietina*

Les résultats de la teneur en proline chez *Xanthoria parietina* (**figure 27**) varient selon les stations et les directions. On peut observer clairement la stabilité des taux de la proline enregistrés au niveau des stations S Tikjda et S Errich. Elles sont proches entre elles et elles varient entre  $184.78 \pm 0.0005 \mu\text{g/g}$  et  $191.39 \pm 0.0004$ .



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 27** : Variation de la proline en fonction des stations de prélèvement chez *Xanthoria Parietina* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

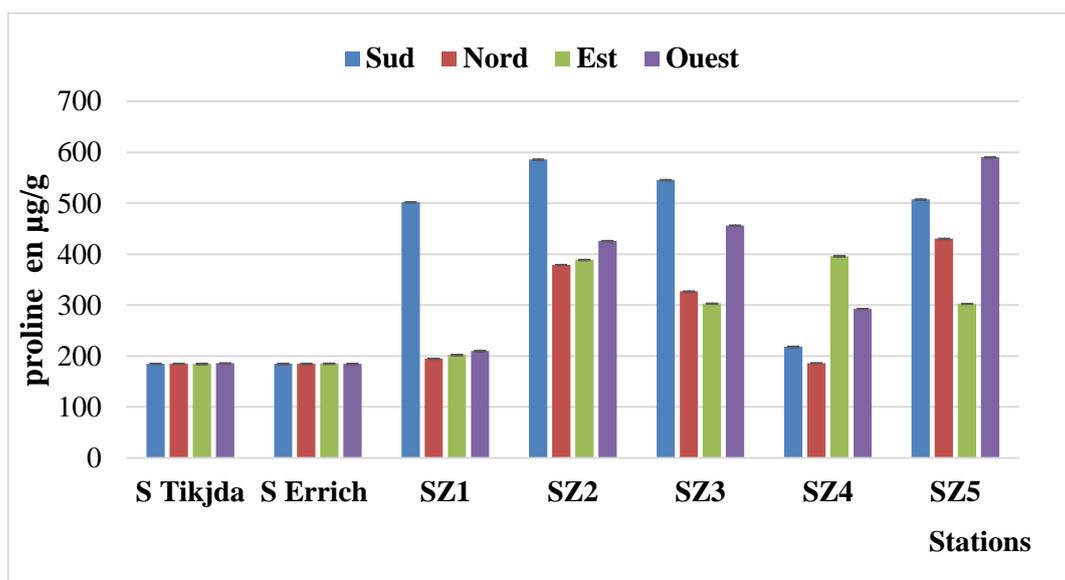
On distingue une augmentation de la proline dans toutes les stations (SZ1-SZ5). Les valeurs les plus élevées sont cependant enregistrées au niveau de la direction Ouest de la SZ5 et la direction Sud de la SZ1 et qui sont respectivement de  $(597.51 \pm 0.001 \mu\text{g/g})$  et de  $(573.6924 \pm 0.003 \mu\text{g/g})$ . La plus faible teneur en proline, de  $(184.78 \pm 0.0005 \mu\text{g/g})$ , est enregistrée à la station S Errich de son côté Sud.

L'analyse de la variance de la proline nous a permis de mettre en évidence un effet très hautement significatif des stations sur l'accumulation de la proline ( $p < 2e^{-16}$ ), et un effet non significatif des directions sur l'accumulation de la proline ( $p = 0.06$ ).

Les résultats de test de Tukey affiche une différence hautement significative ( $p < 0.001$ ) \*\*\* entre les stations de référence (S Tikjda- S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

### III.3.3.2. Dosage de la proline chez *Cupressus Sempervirens*

Les résultats, de la teneur en proline chez *Cupressus Sempervirens*, illustrés par la **figure 28**, montrent une augmentation de la proline de toutes les stations de la zone industrielle (SZ1-SZ5). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le côté Ouest de la station SZ5 et dans le côté Sud de la SZ2, elles sont respectivement de  $(590.40 \pm 0.0009 \mu\text{g/g})$  et de  $(586.08 \pm 0.002 \mu\text{g/g})$ . Les plus faibles teneurs en proline de  $(184.78 \pm 0.00009 \mu\text{g/g})$  et de  $(184.7929044 \pm 0.0001 \mu\text{g/g})$  sont respectivement enregistrées au côté Est de la station S Tikjda et au côté Nord de à la station S Errich.



Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

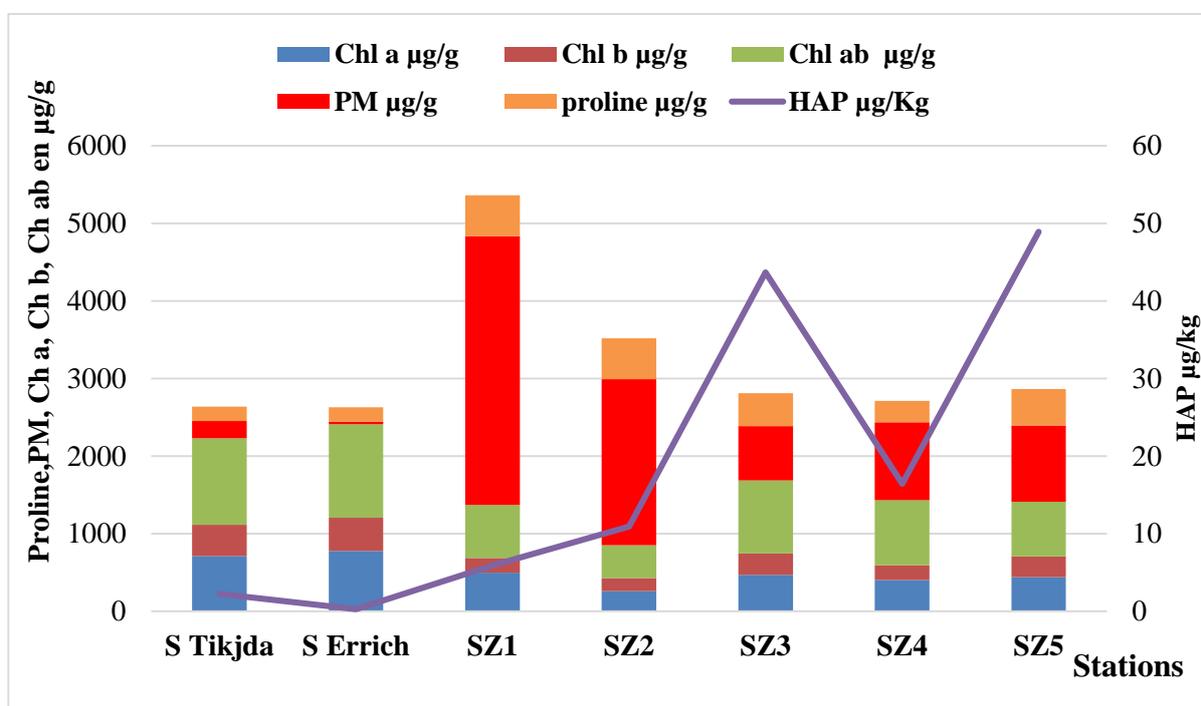
**Figure 28** : Variation de la proline en fonction des stations de prélèvement chez *Cupressus Sempervirens* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

Comme pour *Xanthoria Parietina*, l'ANOVA appliquée sur les données concernant la variation des taux de proline des échantillons réalisés sur les feuilles de *Cupressus Sempervirens* dans la ville de Bouira, permet de mettre en évidence un effet très hautement significatif des stations sur l'accumulation de la proline ( $p < 2.77e^{-14}$ ) \*\*\*, et un effet non significatif des directions sur l'accumulation de la proline ( $p = 0.06$ ).

## Résultats et discussions

Comme la plus part des points traités précédemment, le test de Tukey, appliqué dans ce cas pour la comparaison des échantillons deux à deux concernant le taux de la proline en fonction des stations de prélèvement chez *Cupressus Sempervirens*, a donné une différence hautement significative de l'ordre de ( $p < 0.001$ ) \*\*\* entre les stations (S Tikjda-S Errich) et les stations (SZ1-SZ5) de la zone industrielle.

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



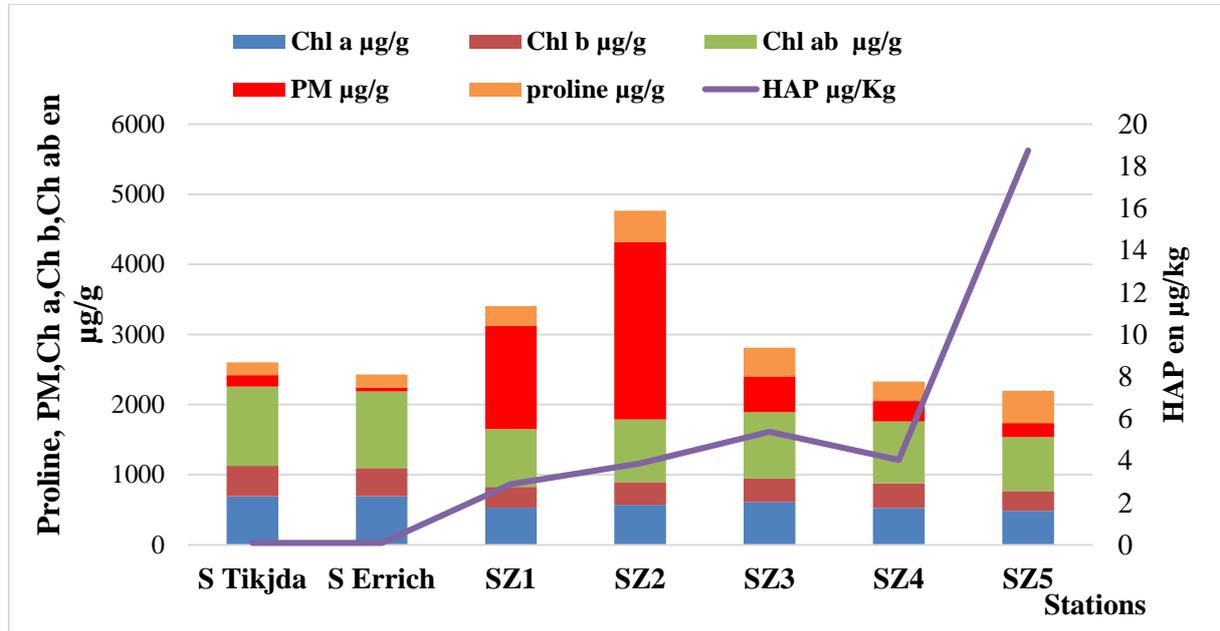
Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 29 :** Corrélations entre les teneurs en proline, Ch. a, Ch. b, Ch. ab et les polluants accumulés par *Xanthoria pareitina* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

D'après les résultats représentés sur l'histogramme de **la figure 29**, on remarque que, là où les taux des HAPs et des PMs sont élevés, on trouve des taux de proline aussi élevés et des taux de chlorophylles (a, b et ab) bas à savoir les stations SZ3 et SZ5 et là où les taux des HAPs et des PM sont bas, on trouve des taux de proline et aussi bas mais des taux de chlorophylles (a, b et ab) élevés à savoir les stations S Tikjda et S Errich.

## Résultats et discussions

Les résultats des relations entre les variables physiologiques (Ch a, Ch b, Ch ab et la proline) et l'accumulation des polluants (HAPs, PM) par *Cupressus Sempervirens* illustrés par la figure 30.



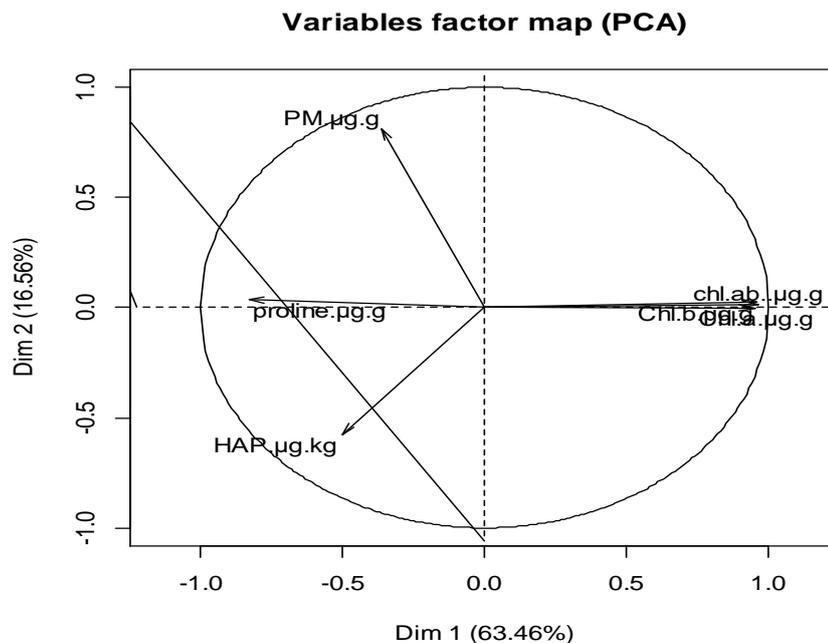
Les stations (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5) : sont les stations de la zone industrielle de SIDI Khaled

**Figure 30 :** Corrélations entre les teneurs en proline, Ch. a, Ch. b, Ch. ab et les polluants accumulées par *Cupressus Sempervirens* dans la région de Bouira (Printemps 2018).

D'après les résultats représentés sur l'histogramme, nous constatons que la corrélation entre les variables physiologique et les polluants accumulés par *Cupressus Sempervirens* suit la même tendance que la corrélation de ce dernier et *Xanthoria Pareitina*

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

L'Analyse des Composantes Principales a été effectuée sur les sept (7) stations d'étude pour tous les éléments étudiés. Cela pour mettre en évidence les relations existantes entre les variables (Ch., Ch., Ch. ab, Proline, HAP et PM) à l'aide du cercle de corrélation.



**Figure 31** : Cercle de corrélation des paramètres physiologiques de chlorophylle et de proline avec les polluants atmosphériques (HAP et PM) mesurés sur *Xanthoria pareitina* et *Cupressus sempervirens* prélevés dans la ville de Bouira

Les deux axes de cette analyse permettent d'expliquer 80.02 % de l'information. Le premier axe contribuant avec 63,46 % et le deuxième avec 16.56%.

L'ACP nous a montré l'existence de corrélation négative entre les paramètres physiologique et les concentrations des poussières ( $r = -0.435^{***}$ ). Cependant la chlorophylle (Ch. ab) sont inversement corrélés avec les polluants accumulés par les compartiments étudié ( $r = -0.468$ ).

On a observés que la proline et les HAPs sont positivement corrélées ( $r = 0.6474^{***}$ ). Elle aussi corrélée avec à les HAPs ( $r = -0.6392^{***}$ ) ainsi que la poussière ( $r = 0.468^{***}$ ).

### Matrices de corrélation

Variables	Ch. a	Ch. ab	Ch. b	HAP	PM	Proline
<b>Ch. a</b>						
<b>Ch.ab</b>	0.923	1				
<b>Ch.b0.8461</b>		0.95	1			
<b>HAP</b>	-0.601	-0.639	-0.634	1		
<b>PM</b>	-0.468	-0.468	-0.435	0.30	1	
<b>Proline</b>	-0.795	-0.804	-0.794	0.6474	0.4	1

### Discussion

Les résultats obtenus des travaux réalisés sur la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAPs et les PMs d'origine industrielle au niveau des cinq stations de la Zone industrielle de Sidi Khaled (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5), ont démontré des teneurs importantes en HAP et PM accumulées par le sol et les bioaccumulateurs utilisés (*Xanthoria Parietina* et *Cupressus Sempervirens*). Par ailleurs, ces résultats ont dégagé des différences significatives à très hautement significatives entre les stations sur l'accumulation des polluants (HAPs et PMs).

Les teneurs des HAPs les plus élevées sont enregistrés au niveau de la station SZ5 (de son côté ouest) du fait de sa localisation à proximité de l'unité industrielle d'Afrique Bitume. Et des teneurs plus ou moins importantes sont observées à la SZ3 qui est une station urbanisée.

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

Peu de documentation et des travaux témoignent de l'utilisation des thalles de *Xanthoria Parietina* et de *Cupressus Sempervirens* pour la bioaccumulation des HAP et le Sol (DRON *et al.*, 2016 ).

Les teneurs des HAPs accumulés par *Xanthoria Parietina* sont globalement comprises entre (0.10 et 172.66 µg/kg). Nos résultats rejoignent ceux de DRON *et al.*, 2016 et AUGUSTO *et al.*, 2010 qui ont trouvé des teneurs respectivement, entre (108 et 374 µg/kg) au niveau des périphéries de la zone industrielle portuaire de Fos-sur-Mer (France) et entre (167 et 256 µg/kg) au niveau de petro-industriel, (Portugal).

Les teneurs des HAPs accumulées par les feuilles de *Cupressus Sempervirens* sont comprises entre (0.12 et 67.37 µg/kg). Ces résultats sont comparables à ceux d'AUGUSTO *et al.*, 2010 qui indique des teneurs en HAP accumulées par le conifère *Pinus halepensis* comprises entre (0.3 et 50 µg/Kg).

Concernant les taux des HAPs accumulés par les écorces de *Cupressus Sempervirens*, ils sont plus élevés que les taux accumulés par ces écailles.

## Résultats et discussions

Les teneurs des HAPs accumulées par le sol sont plus faibles par rapport aux HAPs accumulées par le cyprès, ceci dit nous permet de penser qu'il est fort probable que ces teneurs accumulées par le cyprès sont d'origine atmosphérique. Les teneurs accumulées par le sol sont entre (0.099 et 3.07  $\mu\text{g/g}$ ), ce qui nous démontre qu'ils sont plus faibles en comparaison avec celle d'**AUGUSTO et al., 2010** (0.8 et 30  $\mu\text{g/kg}$ ).

En ce qui concerne les teneurs des PM les plus élevées sont enregistrés à la station SZ1 du côté sud en raison de sa proximité de l'usine d'éponge. Les teneurs plus au moins importantes sont observées à la SZ2 du fait de sa proximité de l'unité industrielle de métal structure.

Les teneurs des PMs accumulées par *Xanthoria Parietina* sont globalement comprises entre (03.47 et 8100 $\mu\text{g/g}$ ) qui est le double des teneurs accumulés par les écailles et les écorces de cyprès.

Le feuillage des conifères possède une structure plus fine qui lui permet d'être efficace pour la capture des particules.

Les plantes permettent d'intercepter des poussières en suspension dans l'air. Il est rapporté que dans l'air des rues dépourvues d'arbres, 10 000 à 12 000 particules par litre d'air sont présentes alors que dans les rues voisines bordées d'arbres, on ne compte plus que 3000 particules par litre d'air. Selon la fondation canadienne de l'arbre, un arbre en bonne santé peut capter 7 000 particules en suspension par litre d'air. Il a été estimé qu'un arbre mature en milieu urbain peut intercepter jusqu'à 20 kg de poussières par an (**VERGRIETE et al., 2007**).

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

Plusieurs études et travaux de recherches ont démontré que la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress dont, la salinité, le stress hydrique, le stress métallique, la compaction du sol, une nutrition inadéquate **CHEIKH M'HAMED et al., 2008**. L'exposition des lichens aux polluants dans les régions urbaines et industrielles causent la déchéance de la chlorophylle des lichens (**MAIZI et al., 2006**).

Les taux de la chlorophylle (Ch. a, Ch. b et Ch. ab) et la proline enregistré chez *Xanthoria Parietina* sont compris respectivement entre (1234 et 114.50  $\mu\text{g/g}$ ) et (184 et 597  $\mu\text{g/g}$ ). Ces résultats rejoignent les valeurs indiquées par **MAIZI et al., 2012**. Ces valeurs ont une tendance à diminuer dans les cinq stations de la zone d'étude avec l'augmentation des polluants (HAPs et PMs).

## Résultats et discussions

---

La teneur en proline pour les deux espèces (*Xanthoria Parietina* et *Cupressus Sempervirens*) a marqué une accumulation très élevée au niveau des cinq stations d'études en raison des dommages et de stress provoqués par les polluants (HAPs et PMs).

## Conclusion générale

Le lichen (*Xanthoria pareitina*) et le conifère (*Cupressus sempervirens*) constituent des outils reconnus pour la biosurveillance des polluants atmosphériques et sont utilisés largement pour l'étude des dépôts atmosphériques de métaux lourds. Une attention particulière est portée actuellement sur les polluants organiques persistants (POPs), dont les effets sanitaires et écotoxicologiques sont tous aussi graves.

Les résultats obtenus des travaux réalisés dans la ville de Bouira durant la période du printemps 2018, concernant la bioaccumulation de la pollution atmosphérique par les HAPs et les poussières d'origine industrielle et leur impact sur la végétation ont montré des concentrations importantes en HAPs et PM accumulées par les deux espèces bioaccumulatrices utilisées, ainsi que le sol au niveau des cinq stations de la zone industrielles (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4, et SZ5).

Ces résultats ont aussi confirmé que la teneur en Chlorophylle totale est plus élevée au niveau des stations caractérisées par la densité de leur couvert végétal à savoir la station de Tikjda et celle d'Errich qu'au niveau des cinq stations clairsemées, à faible couvert végétal, de la zone industrielle de Sidi Khaled (SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 et SZ5).

Par contre, les teneurs en proline les plus élevée, accumulée par les deux espèces (*Xanthoria Pareitina et Cupressus Sempervirens*) sont enregistrées au niveau des stations de la zone industrielle.

On peut réaffirmer que les espèces utilisées dans la présente étude se sont avérées être de très bonnes bioaccumulatrices des HAPs et des PMs,

Le lichen *Xanthoria Pareitina* présente un pouvoir accumulateur beaucoup plus élevé que le conifère *Cupressus Sempervirens*. Ainsi, Les teneurs des PM accumulées par ce lichen sont le double des tenures accumulées par les écales et les écorces du conifère utilisé.

Aussi les taux des HAPs accumulés par les écorces de *Cupressus Sempervirens*, sont plus élevés que les taux accumulés par ces écales.

Mais les tenures des HAPs accumulés par le sol sont plus faibles par rapport aux HAPs accumulés par le cyprès.

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

## Conclusion générale

---

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

- ✓ On propose d'élargir l'espace d'étude tout en incluant d'autres zones industrielles pour faire une comparaison.
- ✓ En parallèle, il serait intéressant de prendre des zones de référence à un pourcentage très élevé pour que la comparaison des résultats puisse nous donner plus d'informations.
- ✓ Comme, il serait intéressant de faire des études sur toutes les périodes de végétation de cyprès ainsi que l'utilisation de ses fruits.
- ✓ En fin, il est insuffisant de quantifier les poussières et les HAP, pour cette raison, on propose de faire leur caractérisation chimique.

### A

AIT HAMMOU, M. *Analyses taxonomique et écologique des lichens de la région de Tiaret* [En ligne]. Thèse de doctorat : Ecologie. Oran : Université Ahmed Ben Bella, 2015, 303 p (consulté le 20/04/2018)

ALBINET, A. *Hydrocarbures aromatiques polycycliques et leurs dérivés nitrés et oxygénés dans l'air ambiant : caractérisation physico-chimique et origine* [En ligne]. Thèse de doctorat : chimie analytique et environnement. Bordeaux : Université Bordeaux 1 science et technologie, 2006, p 389 (consulté le 01/05/2018)

ALZIEU, C ; et al. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion [En ligne]. Ed : IFREMER. Plouzané, 2003,263 (consulté le 27/04/2018)

AMIARD, J-C. Les risques chimiques environnementaux [En ligne]. Ed : TEC & DOC. Paris : Lavoisier, 2011, 771 (consulté le 03/06/2018)

AMIGO, J-M ; RATOLA, N ; ALVES, A. Study of geographical trends of polycyclic aromatic hydrocarbons using pine needles [En ligne]. 2011, Vol. 45, p 5988-5996 (Consulté le 25/05/2018)

ANGEL, M. ; GARCIA, G. *Absorption - réduction des Nox provenant d'installations fixes sur systèmes catalytiques HPW-métal supportés* [En ligne]. Thèse de doctorat : Catalyse. Strasbourg : Université Louis Pasteur, 2004, 276p. (Consulté le 23/04/2018)

OTT, S. Reproduction sexuelle et adaptations développementales chez *Xanthoria parietina*. International Journal for botany and Mycology [En ligne].1987, vol.7, n° 2,219-228. Disponible sur : (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1756-1051.1987.tb00933.x> ). (Consulté le 15/05/2018)

AOURAGH, L. *Etude de la Qualité de l'Air Urbain au Niveau de la Ville de Batna : Cas du Transport Routier* [En ligne]. Thèse de doctorat : Hygiène et Sécurité Industrielle. Batna : Université Hadj-Lakhdar, 2015, 156 p (consulté le 23/04/2018)

AUGUSTO, S ; MAGUAS, C ; BRANQUINHO C. Understanding the performance of different lichen species as bio monitors of atmospheric dioxins and furans: potential for inter calibration, *Ecotoxicology* [En ligne]. 2009, n° 18, p. 1036-1042. (Consulté le 18/05/2018)

AUGUSTO, S ; MAGUAS, C ; MATOS, J *et al.* Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles, *Environmental Pollution* [En ligne]. 2010, n° 158(2), p. 483-489. (Consulté le 30/04/2018)

## B

BAREND, L ; GUILLEM, V-D ; GARRIGA, J ; GRIMALT, O. Polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles (*Pinus halepensis*) along a spatial gradient between a traffic intensive urban area (Barcelona) and a nearby natural park [En ligne]. 2014, Vol. 5, p 398-403 (Consulté le 01/06/2018)

BECHEC, M. *Pollution de l'air intérieur : mesure, impact sur la santé et traitement par méthodes photochimiques* [En ligne]. Thèse de doctorat : Chimie-Physique. France : Université de Pau et des pays de l'Adour, 2016, 136p. (Consulté le 23/04/2018)

BESSE-DELEAVAL, J. *Dynamique des micropolluants semi-volatils : transferts à l'interface sol-air* [En ligne]. Thèse de doctorat : Chimie. Grenoble : Université de Grenoble, 2005, 252p (consulté le 29/05/2018)

BOUSSOUARA, K. *Etude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne* [En ligne]. Thèse de doctorat : Génie mécanique. Constantine : Université des frères Mentouri, 2010, 227 p (consulté le 20/04/2018)

BOUTERAA, M. *Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest dans la région de Constantine* [En ligne]. Mémoire de Magister : Ecologie et Environnement. Constantine : Université des frères Mentouri, 2014, 200 p (consulté le 03/05/2018)

BREMAUD, C ; THIBAULT, J ; ULRICH, E. **Titre de chapitre.** In ; Environnement, alimentation, santé : module MG4 biologie-écologie [En ligne]. 1<sup>er</sup>ed. Dijon : Educagri, 2012, 200p (Bac Pro, n°4). Disponible sur :

<https://books.google.dz/books?id=5eQv4YPPhfYC&pg=PA85&dq=les+polluants+primaire+et+secondaire&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwiBtrT6sOPbAhWHuxQKHYYI-D4QQ6AEIKTAA#v=onepage&q=les%20polluants%20primaire%20et%20secondaire&f=false> (consulté le 06/05/2018).

BRORSTROM-LUNDEN, E ; LOFGREN, C. Atmospheric fluxes of persistent semi volatile organic pollutants to a forest ecological system at the Swedish west coast and accumulation in spruce needles **[En ligne]**. 1998, p 139-149 (Consulté le 02/06/2018)

### C

CAPPZZI, F ; et *al.* Biomonitoring of atmospheric pollution by moss bags : Discriminating urban-rural structure in a fragmented landscape **[En ligne]**. 2016, Vol. 149, p 211-218 (Consulté le 02/06/2018)

CATINON, M. *Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres* **[En ligne]**. Thèse de doctorat : Santé, Cognition et Environnement. GRENOBLE : Université Joseph-Fourier, 2010, 207p. (consulté le 25/04/2018)

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. (consulté le 11/05/2018)

CELLIER, P ; GENERMONT, S. L'agriculture entre pollution atmosphérique et changement climatique **[En ligne]**. 2016, 12 p. (Consulté le 02/06/2018)

CHASSARD, G. *Interaction de l'ozone avec des particules carbonées : cinétiques de capture, dégradation des HAP et impact sur la réponse inflammatoire épithéliale* **[En ligne]**. Thèse de doctorat : Optique et Lasers, Physico-Chimie, Atmosphère. Lille : Université Lille 1 Sciences et Technologies, 2014, 225 p. (consulté le 11/05/2018)

CHEIKH M'HAMED, H ; ABDELLAOUI, R ; et *al.* Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare* L) cultivée en Tunisie : Approche physiologique **[En ligne]**. 2008, N° 28, p 30-37. (Consulté le 29/04/2018)

COSTES, J-M ; DRUELLE, V. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement : la réhabilitation des anciens sites industriels **[En ligne]**. 1997, Vol. 52, N° 4, 16 p. (consulté le 29/04/2018)

CRESPO, A. *Présence et sources des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le bassin d'Arcachon* [En ligne]. Thèse de doctorat : Géochimie et écotoxicologie. Bordeaux : Université Bordeaux 1, 2009, 458 p. (consulté le 27/05/2018).

### D

DESALME, D. *Contamination atmosphérique par les hydrocarbures aromatiques polycycliques : toxicité et devenir du phénanthrène dans des systèmes sol-plante-microorganisme* [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la vie et de l'environnement. Paris : Université de Franche-Comté, 2011, 135p. (Consulté le 15/05/2018).

DOŁEGOWSKA, S ; et al. PAH concentrations in the moss species *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from the Kielce area (south-central Poland) [En ligne]. 2011, Vol. 74, p 1636-1644. (Consulté le 08/06/2018)

DJAMAI, F-D ; BENSLAMA, R-M. Bio - indication de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures totaux du complexe pétrochimique de Skikda (nord-est algérien) à l'aide d'une espèce lichénique épiphyte *Xantho* [En ligne]. 2009, 7p. (Consulté le 03/06/2018)

DRON, J ; AUSTRUY, A ; AGNAN, Y ; et al. Utilisation de la biosurveillance lichénique sur la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer : retour sur trois ans de suivi à l'échelle d'un territoire intercommunal pollution atmosphérique [En ligne]. 2016, N°228, 14p. (Consulté le 25/05/2018)

### F

FANGFANG, S ; DAZHI, W ; YUANWEN, K ; et al. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in needles of Masson pine (*Pinus massoniana* L.) growing nearby different industrial sources [En ligne]. 2010, Vol. 22, p 1006-1013 (Consulté le 05/05/2018)

FOAN, L ; et al. Mosses as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: Comparison with total deposition and evaluation of bioconcentration factors. A year-long case-study [En ligne]. 2016, Vol. 119, p 452-58. (Consulté le 02/06/2018)

FABURE, J. Étude de l'accumulation et des effets des composés organiques volatils (BTEX) chez les bryophytes [En ligne]. Thèse de doctorat : Science biologique. Lille : Université du Droit et de la Santé - Lille II. 2009, 300p. (Consulté le 10/06/2018)

FINTZ, E. *Recrudescence d'asthme et pollution atmosphérique* [En ligne]. Thèse de doctorat : Pharmacie. Toulouse : Université de Paul Sabatier, 2014, 91 p. (consulté le 30/04/2018)

FOAN, L ; M, Biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes : Suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences des Agroressources. Toulouse : Université de Toulouse, 2012, 337p. (Consulté le 05/05/2018)

FROUX, F. *Caractéristiques hydrauliques, régulation stomatique et efficacité d'utilisation de l'eau de quatre espèces de conifères méditerranéens (Cupressus sempervirens, Cedrus atlantica, Pinus halepensis et Pinus nigra)* [En ligne]. Thèse de doctorat : Biologie Forestière. Nancy : Université de Henri Poincaré, 2002, 212 p. (consulté le 15/05/2018)

## G

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

GUERMOUCHE M'RASSI, A. *Caractérisation moléculaire des bactéries impliquées dans la biodégradation des hydrocarbures* [En ligne]. Thèse de doctorat : Microbiologie. Oran : Université Ahmad Ben Bella, 2014, 166 p. (consulté le 29/05/2018)

GUILLON, A. *Étude de la composition isotopique moléculaire ( $\delta^{13}C$ ) comme traceur de source qualitatif et quantitatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particulaires dans l'atmosphère* [En ligne]. Thèse de doctorat : Chimie Analytique et Environnement. Bordeaux : Université Bordeaux 1, 2011, 383 p. (consulté le 21/04/2018)

### H

HACHE, E. *Apport de la bande de Chappuis pour la mesure de l'ozone depuis un satellite géostationnaire pour la surveillance de la qualité de l'air* [En ligne]. Thèse de doctorat : Océan, Atmosphère et Surfaces Continentales. Toulouse : Université Paul Sabatier, 2014, 239 p. (Consulté le 20/05/2018)

HEBRARD-LABIT, C ; MEFFRAY, L. Comparaison de méthodes d'analyse des éléments traces métalliques (ETM) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sur les sols et les végétaux [En ligne]. 2004, n° 01, 121 p. (Consulté le 01/06/2018)

HOUDART, M. Organisation spatiale des activités agricoles et pollution des eaux par les pesticides -Modélisation appliquée au bassin-versant de la Capot, Martinique [En ligne]. Thèse de doctorat : Géographie. Lieu : Université des Antilles et de la Guyane, 2005, 485p. (Consulté le 02/05/2018)

### I

Inventaire National du Patrimoine Naturel(INPN) [en ligne]. (6 décembre 2017). Disponible sur : [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/59568/tab/fiche](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/59568/tab/fiche) (consulté le 28/05/2018)

### J

JAUTZY, J. *Sources d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca : approches isotopiques* [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la terre. Québec : Institut national de la recherche scientifique, 2015, 165 p. (Consulté le 04/05/2018)

### K

KHELIL, R. *Bioindication et bioaccumulation : Deux modèles biologiques pour la détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures dans la région de Ouargla* [En ligne]. Thèse de doctorat : Agronomie Saharienne. Ouargla : université Kasdi Merbah, 2016, 260 p. (consulté le 10/06/2018)

KHLAIFI, A. *Estimation des sources de pollution atmosphérique par modélisation inverse* [En ligne]. Thèse de doctorat : science de l'ingénieur. Paris : Université de Paris XII, 2017, 366 p. (Consulté le 12/06/2018)

KOLLER, E. *Traitement des pollutions industrielles*. 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod, 2004, 7885 (Consulté le 01/05/2018)

### L

LEOZ-GARZIANDIA, E. *Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'air ambiant (HAP)* [En ligne]. 2000, N° 570, 52 p. (consulté le 19/05/2018)

### M

MAATOUG, M., HELLAL, B., DELLAL, A., AYAD, N., BOURBATACH, M. *Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu)* [En ligne]. *Rev. POLLUTION ATMOSPHERIQUE*. N° 196, 2007, 385-394. (Consulté le 04/06/2018)

LOPPI, S ; et *al.* *Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by lichen transplants : Comparison with gas-phase passive air samplers* [En ligne]. 2015, Vol. 134, p 39-43 (Consulté le 07/05/2018)

MAIZI, N ; ALIOUA, A ; TAHAR, A. *Jumelage des bio-indicateurs et d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air pour la détection de la pollution par le SO<sub>2</sub> dans la région de Annaba (Algérie)* [En ligne]. 2011, 10 p. (consulté le 10/05/2018)

MAIZI, N. *Caractérisation de la pollution plombique a l'aide des bioindicateurs végétaux : un lichen (*ramalina farinacea*), une mousse (*funaria hygrométrica*) et quelques espèces phanerogamiques dans la région de Annaba (Algérie)* [En ligne]. Thèse de doctorat : biologie végétale. Annaba : Université de Badji Mokhtar, 2013,165p. (Consulté le 27/04/2018)

MARÇAIS, J. *Transferts des polluants organiques persistants de l'atmosphère aux milieux aquatiques de montagne* [En ligne]. Thèse de doctorat : Chimie. Grenoble : Université Alpes., 2017, 243p. (Consulté le 27/04/2018)

Sylvain MARSY. *Xanthoria parietina*. In : *Les espèces* [En ligne]. (17 juin 2015). Disponible sur : <http://enquetelichensauvergne.mnhn.fr/xanthoria-parietina/> (Consulté le 27/04/2018)

MASCLET, P. Pollution Atmosphérique : Causes, Conséquences, Solution, Perspectives. Edition : ELIPSES, 2005, 213p. (Consulté le 05/05/2018)

MELQUIOT, P. **Titre de chapitre**. In : 1001 Mots et abréviation de l'environnement et du développement durable[**en ligne**].1<sup>er</sup>ed.Lyon: Recyconsult, 2003,192p. Disponible sur : <https://books.google.dz/books?id=vFdDBC-5WWEC&printsec=frontcover&dq=Pierre+Melquiot,+2003&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwj41qzQrOPbAhXD1hQKHSpCDegQ6AEIJ-jAA#v=onepage&q=Bioindicateur&f=false> (consulté le 27/05/2018)

MERLEN, R. La biosurveillance : outil de surveillance de l'impact sur l'environnement des émissions atmosphériques industrielles et d'évaluation des risques sanitaires [**En ligne**]. Rev. POLLUTION ATMOSPHERIQUE. N°226, 2015, 1-12. (Consulté le 17/05/2018)

MICHELAUR. Plantes. Lichen Xanthoria parietina. In : Herbiere [**en ligne**]. (29 Janvier 2011). Disponible sur : [http://www.foretsenaulnoye.fr/index.php?view=article&id=108%3Aherbiere-lichen-xanthoria-parietina&option=com\\_content&Itemid=34](http://www.foretsenaulnoye.fr/index.php?view=article&id=108%3Aherbiere-lichen-xanthoria-parietina&option=com_content&Itemid=34) (consulté le 12/05/2018)

MIGASZEWSKI, Z.M ; GALUSZKA, A ; PASLAWSKI, P. Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols, and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains, South-Central Poland [**En ligne**]. Environment International 28 (4), 2002, p303-313. (Consulté le 08/05/2018)

MORIN, S. *Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Approches in situ et expérimentales* [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Biologie végétale. Bordeaux : Université Sciences et Technologies- Bordeaux I, 2006, 303p. (Consulté le 29/05/2018)

MORISSEAU, K. *Traitement combiné de polluants atmosphériques par filtration et adsorption pour limiter leur transfert dans l'habitat urbain* [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Génie des procédés. Nantes : Ecole des Mines de Nantes, 2016, 247p. (Consulté le 11/06/2018)

MZOUGHIA, N. Méthodologie de l'extraction des hydrocarbures aromatiques polycycliques [**En ligne**]. Application à des sédiments de la lagune de Bizerte (Tunisie). Geoscience, 2002, n°334, 893–901p. (Consulté le 22/05/2018)

### N

NASCIMBENE, J ; et *al.* Patterns of traffic polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in mountain areas can be revealed by lichen biomonitoring: A case study in the Dolomites (Eastern Italian Alps) [**En ligne**]. 2014, Vol. 475, p 90-96 (Consulté le 07/05/2018)

NICHANE, M. Contribution à l'étude du dépérissement du Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) dans les monts des Traras Occidentaux (Wilaya de Tlemcen) [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Ecologie animale, 2015, 247p. (Consulté le 02/05/2018)

### O

OISHI, Y. Comparison of moss and pine needles as bioindicators of transboundary polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in central Japan [**En ligne**]. 2018, Vol. 234, p 330-338. (Consulté le 12/05/2018)

### P

PEREIRA NETTO, A ; et *al.* Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Terminalia catappa L. (Combretaceae) bark from a selected heavy road traffic area of Rio de Janeiro City, Brazil [**En ligne**]. 2007, p 389-396 (Consulté le 05/05/2018)

PERCOT, S. Contribution des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain : Cas du Pin Sec à Nantes. [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Génie civil. Nantes : école centrale de Nantes, 2012, 253 p. (consulté le 11/06/2018)

PHILIPPE, C. Analyse de la pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale. Modélisation spatiale et temporelle à l'aide d'une méthode de scénarii épisodique [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Energétique. Rouen : L'institut national des sciences appliquées, 2004, 223p. (Consulté le 25/05/2018)

PIMSEE, P. Etude du comportement des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) lors du déversement accidentel d'hydrocarbures en eaux continentales [**En ligne**]. Thèse de doctorat : Sciences des Agro ressources. Toulouse : Université de Toulouse, 2014, 183p. (Consulté le 03/06/2018)

PISON, I. *Modélisation inverse pour l'optimisation des sources primaires de pollution atmosphérique à l'échelle régionale* [En ligne]. Thèse de doctorat : chimie de la pollution atmosphérique et physique de l'environnement. Paris : Université de Paris XII, 2005, 175p. (Consulté le 12/05/2018)

## R

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

RIOM, C. Le cupressus sempervirens et approche concept du pollinier sentinelle nantais [En ligne]. Thèse de doctorat. Nantes : Université de Nantes faculté de pharmacie, 2010, 123p. (Consulté le 29/04/2018)

RIVERA NAVA, JL. *Stratégie Mère Porteuse chez Cupressus dupreziana A. Camus (cyprés du Tassili) – Analyse, conséquences et perspectives* [En ligne]. Thèse de doctorat : Biologie de Populations, Écologie. Marseille : Université Paul Cézanne, 2008, 129p. (Consulté le 06/05/2018)

## S

SHORSHANI, M. F. *Modélisation de l'impact du trafic routier sur la pollution de l'air et des eaux de ruissellement* [En ligne]. Thèse de doctorat. Paris : Université Paris-Est, 2014, 187p. (Consulté le 18/05/2018)

SEMADI, F. FAISABILITE DU TRAITEMENT DES EAUX D'UN OUED CHARGÉ EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM) PAR FILTRES PLANTÉS DE MACROPHYTES (Phragmites australis) : CAS DE L'OUED MEBOUJJA – ANNABA – ALGERIE [En ligne]. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie. Annaba : UNIVERSITE BADJI MOKHTAR, 2010,225p. (Consulté le 12/04/2018).

### T

TANKARI DAN-BADJO, A. *Modalités de contamination du ray-grass par les éléments du groupe platine et les hydrocarbures aromatiques polycycliques à proximité des voies routières* [En ligne]. Thèse de doctorat : Sciences Agronomiques, Lorraine : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 2007, 137p. (Consulté le 28/04/2018)

TETREAULT, L.F. *Asthme infantile et polluants du trafic routier* [En ligne]. Thèse de doctorat : Santé publique. Montréal : École de santé publique, 2016, 268p. (Consulté le 07/06/2018)

### V

VALARI, M. *Modélisation de la pollution atmosphérique urbaine et impacte sur la santé* [En ligne]. Thèse de doctorat : Physique et Chimie de l'atmosphère. Guyancourt : Institut Pierre-Simon Laplace, 2009, p (consulté le 07/06/2018)

VAN HALUWYN, C; CUNY, D; GARREC, J-P. Définitions, concepts et enjeux généraux de la biosurveillance de la qualité de l'air [En ligne]. 2011, 6p. (Consulté le 16/05/2018)

VENDEL, F. *Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels* [En ligne]. Thèse de doctorat : Mécanique. Lyon : Université de Lyon, 2011, 367p. (Consulté le 26/04/2018)

VERGRIETE, Y ; LABRECQUE, M. *Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain* [En ligne]. revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais, janvier 2007. Conseil Régional de l'environnement de Montréal

VILLENAVE, E *Apports atmosphériques en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) à l'écosystème aquatique du Bassin d'Arcachon* [En ligne]. 2013

### W

WILLIAM, B ; et al. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons, dibenzothiophene, and alkylated homologs in the lichen *Hypogymnia physodes* by gas chromatography using single quadrupole mass spectrometry and time-of-flight mass spectrometry [En ligne]. 2017, Vol. 1492, p 106-116 (Consulté le 02/06/2018)

### Y

Yves Michaud. **Titre de chapitre**. In : Université de Tous les Savoirs. [En ligne]. 1<sup>er</sup>ed. Paris: ODILE JACOB, 2004, Disponible sur: [https://books.google.dz/books?id=\\_KJb1pkC6xYC&pg=PA176&dq=De+tr%C3%A8s+nombreux+polluants+sont+%C3%A9mis+dans+l%E2%80%99atmosph%C3%A8re+\(Yves+Michaud\)&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwi4\\_6S7suPbAhXIkywKHXL3BsEQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.dz/books?id=_KJb1pkC6xYC&pg=PA176&dq=De+tr%C3%A8s+nombreux+polluants+sont+%C3%A9mis+dans+l%E2%80%99atmosph%C3%A8re+(Yves+Michaud)&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwi4_6S7suPbAhXIkywKHXL3BsEQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false) (Consulté le 05/05/2018).



## Résumé

Ce travail a porté sur l'étude de la pollution atmosphérique de la zone industrielle de Sidi Khaled (Oued El Berdi) en utilisant le lichen (*Xanthoria Parietina*), les écorces et les résines de conifère (*Cupressus sempervirens*) comme des bioaccumulateurs et le sol des Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des poussières

Dans ce contexte, sept stations ont été choisies pour le prélèvement des deux espèces dans les quatre points cardinaux, pour une période de trois mois (Avril, mai et juin).

Les paramètres physiologiques de la chlorophylle et de la proline ont été mesurés et les polluants atmosphériques de HAP et des PM ont été quantifiés au sein des stations d'étude.

Les résultats montrent une variation spatiale entre les différentes stations et directions de ces paramètres. Ainsi le test de l'ANOVA à un facteur a révélé une différence significative à très hautement significative pour les paramètres physiologiques et les quantités des HAPs et des PM accumulés. Le test de Tukey a montré des différences hautement significatives entre les stations de référence de Tikjda et d'Errich et les cinq stations de la zone industrielle de Sidi Khaled.

Le test de l'ACP a mis en évidence des corrélations spatiales entre les paramètres physiologiques (Ch a, Ch b, Ch ab et la proline) et la quantité des HAPs et des PM accumulés.

Il reste encore plusieurs travaux à réaliser dans le cadre de la pollution atmosphérique spécialement dans la région de Bouira mais aussi sur tout le territoire algérien.

**Mots clés :** Pollution Atmosphérique, bioaccumulateurs, zone industrielle, *Xanthoria Parietina* , *Cupressus sempervirens*, Hydrocarbures aromatiques polycycliques, chlorophylle, proline.

### Abstract

This work done on the study of atmospheric pollution of the industrial zone of Sidi Khaled (Wad El Berdi) using the lichen (*Xanthoria parietina*), scales and conifer bark (*Cupressus sempervirens*) as bioaccumulators and the soil of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and dusts (PM).

In this context 07 stations were chosen for the sampling both species in the four cardinal points for the period of three months (April, June and July).

The physiological parameters of the chlorophyll and the proline were measured and the atmospheric pollutants of PAHs and PM were quantified within the studied stations.

The results show a spatial variation between the different stations and directions of the physiological parameters. Thus, the test of ANOVA has a factor revealed a significant difference to very highly significant for the physiological parameters and the amount of accumulated PAHs and PM. The Tukey test showed the significant difference between the different reference stations of Tikjda, Errich et and the 5 stations of the industrial zone of Sidi Khaled. The PCA test revealed a spatial correlation between the physiological parameters and the amount of PAHs and PM accumulated.

There is still a lot of work to be done in the context of atmospheric pollution especially in the region of Bouira and also in all Algerian territory.

**Keywords :** Air Pollution, Bio-indication, industrial zone, *Xanthoria Parietina* , *Cupressus sempervirens* , chlorophyll ,proline, polycyclic aromatic hydrocarbons.