

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 : Science et Gestion de l'Environnement

Présenté par :

*KERMIA Asma et YAHIAOUI Kheira*

*Thème*

*Utilisation des bioindicateurs végétaux (Rhynchosyrium riparioides) dans la surveillance des émissions de la cimenterie de Sour El Ghoulane*

Soutenu le : 03/07/2017

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>M. BARA. M</i>	<i>MCB</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Président</i>
<i>Mme. MAIZI. N</i>	<i>MCB</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Promotrice</i>
<i>Mme. IDIR. T</i>	<i>MAA</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Examinatrice</i>

Année Universitaire : 2016/2017



# Remerciement

*Nous remercions d'abord Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'achever ce travail et sans lequel il n'aurait jamais été accompli. Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur **Mme MAIZI Naila**, Docteur à l'Université de Bouira pour sa compréhension, ses conseils, son aide, sa gentillesse et ses orientations efficaces.*

*Nous remercions également les membres du jury **M. BARA M.** d'avoir accepté de présider notre jury et **Mme. IDIR T.**, pour avoir accepté d'être examinatrice de notre travail de mémoire.*

*Aussi, Nous remercions tous les travailleurs de la Cimenterie de Sour El Ghozlane en particulier : **Mme HELALLE Wahiba** et **Mr DJELLAL Hamza**. Nous adressons également nos profondes gratitudees à tous les enseignants de **l'Université Akli Mohand Oulhadj** en particulier ceux du Département des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre.*

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

**Merci a tous**



## ***Dédicace***

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

*Je dédie ce mémoire à toute ma famille, A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie. AHSSAN et ZAHRA, et mes sœurs AMINA, ALDJA, SELMA, MAROI et YOUSRA.*

*Je le dédie également à mes neveu YOUNES et NADA et mon beau-frère MOULOUD,  
DJAMAL et ABD ELRAHMAN.*

*Je dédie aussi à mon oncle HOUCIN et mes tantes, ROKAYA et NACIRA,  
Cousins et cousines.*

*Je ne saurai terminer sans citer mes amis IMANE, FARIDA, NOURA, ASYA, HAMAMA,  
AMIRA, DJMILA, HADJIRA et AMINA.*

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

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

***KERMIA Asma***

## *Dédicace*

*Ce n'est que grâce à l'aide d'Allah que nous avons pu réaliser  
cet humble travail que je dédie : A mes très chers parents :*

*Mon père pour son soutien et pour ses encouragements et ses  
précieus conseils durant toute ma vie.*

*Ma mère pour son amour inconditionnel et sa présence à mes côtés  
dans les moments difficiles.*

*A mes frères : Mohamed et Kouider et mes sœurs*

*Saadia, Zahira, souhila mounira et fatima.*

*A mes beaux-frères : Ahmed, Ibrahim, Moukhtar, khalil, Mouh, et  
mes belles sœurs : Nabila et Saadia,*

*A mes nièces et mes neveux : Yasmine, Manal, Raihan, Sara,  
Tasnime, Aala, Meriem, Malak, Israe, Nacer, Khaled, Yasser,  
Mohamed, Abed Rahim.*

*A mes proches amies Meriem, Hayat, Nadjat, Cherifa, Sara,  
Hadjira et Noura.*

*A mon binôme ASMA à qui je souhaite tout le bonheur dans la vie.*

*A toutes les personnes que je connaisse et que je n'ai pas citées.*

**YAHIAOUI K.**

## *Table des matières*

<b>Remerciement</b>	
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	

### **Partie I : Partie bibliographique**

<b>Introduction générale</b> .....	<b>2</b>
------------------------------------	----------

#### **CHAPITRE I : LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE**

<b>I.1 Définition de la pollution atmosphérique</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Classification des polluants atmosphériques</b> .....	<b>3</b>
I.2.1 Primaire .....	3
I.2.2 Secondaires .....	3
<b>I.3. Sources de pollution atmosphériques</b> .....	<b>3</b>
I.3.1. Les sources naturelles .....	4
I.3.2. Les sources dues aux activités humaines .....	4
I.3.2.a. Les installations fixes de combustion .....	4
I.3.2.b. Les installations industrielles .....	4
I.3.2.c. Les sources automobiles .....	5
I.3.2.d. Les activités agricoles .....	5
<b>I.4. Facteurs intervenant dans le transport et la diffusion des polluants</b> .....	<b>5</b>
I.4.1. Facteurs météorologiques .....	5
I.4.1.a. Le vent .....	5
I.4.1.b. Le gradient vertical de température .....	5
I.4.1.c. L'humidité, la chaleur et le rayonnement solaire .....	5
I.4.2. Facteurs topographiques .....	5
<b>I.5. Les différentes échelles de la pollution atmosphérique</b> .....	<b>6</b>
1.5.1. Pollution de proximité et à l'échelle locale .....	6
1.5.2. Pollution à l'échelle régionale .....	6
1.5.3. Pollution planétaire .....	6
<b>I.6. Quelques polluants atmosphériques</b> .....	<b>7</b>
I.6.1. Monoxyde de carbone .....	7

I.6.2. Les oxyde d'azote .....	7
I.6.3. L'ozone .....	7
I.6.4. Le dioxyde de soufre .....	8
I.6.5. Les composés organiques volatils .....	8
I.6.6. Les aérosols .....	8
<b>I.7. Les grands saisons de pollution .....</b>	<b>8</b>
I.7.1. Pollution hivernale .....	8
I.7.2. Pollution estivale .....	8
<b>I.8. Effet de la pollution sur les végétaux .....</b>	<b>9</b>
<b>I.9. Effets sur l'environnement .....</b>	<b>9</b>
<b>I.10. Les effets sur la santé .....</b>	<b>9</b>
<b>I.11. Législation et norme de qualité de l'air en Algérie .....</b>	<b>10</b>
<b>I.12. Normes internationales de qualité de l'air .....</b>	<b>11</b>
<b>I.13. La pollution atmosphérique par les émissions d la cimenterie .....</b>	<b>12</b>
<b><u>CHAPITRE II METHODES DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR</u></b>	
<b>II.1. La biosurveillance de la qualité de l'air .....</b>	<b>13</b>
II.1.1. La bioindication .....	14
II.1.2. La bioaccumulation .....	14
II.1.3. La biointégration .....	14
II.1.4. Le biomarqueur .....	14
<b>II.2. Les avantages et les limites de la biosurveillance .....</b>	<b>14</b>
II.2.1. Les avantage .....	14
II.2.2. Les inconvénients .....	15
<b>II.3. Les bryophytes .....</b>	<b>15</b>
II.3.1. Généralités .....	15
II.3.2. Définition .....	15
II.3.3. Classification des bryophytes .....	16
II.3.3.a. Les hépatiques .....	16
II.3.3.b. Les bryophytes .....	16
II.3.3.d. Les anthocérotes .....	16
II.3.4. Appareil végétatif .....	16
II.4.4. Cycle de reproduction des mousses .....	17
II.4.4.a. Reproduction sexuée .....	17

II.4.4.b. Reproduction asexuée .....	18
II.4.5. Ecologie des mousses .....	18
II.4.6. Rôles et intérêt des mousses .....	19
II.4.7. Utilisation des mousses comme bio indicateurs de pollution .....	19

## **Petrie II : Matériel et Méthodes**

### **CHAPITRE I PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

<b>I.1 localisation géographique .....</b>	<b>20</b>
<b>I.2 Description de la cimenterie de Sour El Ghozlane .....</b>	<b>21</b>
<b>I.3 processus de fabrication .....</b>	<b>22</b>
<b>I.4 Environnement de SC-SEG .....</b>	<b>23</b>
<b>I.5 Emissions atmosphériques de la cimenterie de Sour El Ghozlane .....</b>	<b>24</b>
<b>I.6 La climatologie de la région d'étude .....</b>	<b>25</b>
I.6.1 Pluviométrie moyenne mensuelle .....	25
I.6.2 Température moyenne mensuelle .....	26
I.6.3 Humidité moyenne mensuelle .....	27
I.6.4 Vitesse du vent moyenne mensuelle .....	28
<b>I.7. Synthèse climatique .....</b>	<b>28</b>
I.7.1. Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN .....	29
I.7.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER .....	30

### **CHAPITRE II ETUDE EXPERIMENTALE**

<b>II.1. Choix de l'espèce .....</b>	<b>31</b>
<b>II.2. Site de prélèvement .....</b>	<b>32</b>
<b>II.3. Choix des sites de transplantation .....</b>	<b>33</b>
<b>II.4. Techniques de transplantations .....</b>	<b>33</b>
<b>II.5. Technique de prélèvement des échantillons .....</b>	<b>34</b>

### **CHAPITRE III TECHNIQUES ANALYTIQUES**

<b>III.1. Dosage de la chlorophylle .....</b>	<b>35</b>
<b>III.2. Dosage de la proline .....</b>	<b>36</b>
III.2.1. Extraction de la proline .....	36
III.2.2. Réalisation du courbe étalon .....	36
<b>III.3. Détermination du rapport MF/MS .....</b>	<b>37</b>

## Partie III : Résultats et Discussion

### **RESULTATS ET DISCUSSION**

<b>I. Changements morphologiques</b> .....	<b>38</b>
<b>II. Détermination des paramètres physiologique et biochimique</b> .....	<b>38</b>
II.1.1 Dosage de la Chlorophylle .....	38
II.1.1 Dosage de la Chlorophylle (a) .....	39
II.1.2 Dosage de la Chlorophylle (b) .....	39
II.1.3. Dosage de la Chlorophylle (ab) .....	40
<b>III Dosage de la proline</b> .....	<b>41</b>
<b>IV Détermination du rapport MF/MS</b> .....	<b>42</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>44</b>
<b>Les références</b> .....	<b>47</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>52</b>
<b>Annexe</b> .....	<b>54</b>



*Liste des abréviations*

ADEME	Agence de l'environnement et de la ministre de l'énergie.
ADEA-G	Agence de l'eau Adour-Garoonne
ASPA	Au service de la qualité de l'air
DGAC	Direction générale de la pollution de l'Avion civile.
DGNP	Direction générale de la nature et du paysage
GICA	Groupe Industriel des Ciments d'Algérie
GPX	Glutathion peroxydase
MEDDE	Ministre de l'écologie du développement durable et de l'énergie
MS	Module silicique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM10	Particules très fines inférieures à 1 micron
PM2.5	Particules fines inférieures à 2,5 microns
SCD SEG	Société des ciments de Sour el Ghozlane
SiO <sub>2</sub>	Dioxyde de silicium
SOD	Superoxyde dismutase
SPA	Société par actions

## Liste des figures

N°	Titre	page
01	Cycle de la pollution atmosphérique	06
02	Les trois échelles de la pollution	07
03	les différents types des bryophytes	17
04	Localisation de la commune dans la Wilaya de Bouira.	20
05	Vue aérienne de la situation de la cimenterie (SC-SEG) (Source : Google Earth, 2017).	21
06	Schéma simplifié du processus de fabrication	23
07	Pluviométrie moyenne mensuelle (2003 – 2013)	26
08	Température moyenne mensuelle (2003 – 2013)	27
09	d'humidité moyenne mensuelle (2003 - 2013)	28
10	moyenne mensuelle de la vitesse du vent (2003 - 2013)	29
11	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Bouira (2003-2013).	
12	Climagramme d'Emberger	
13	Vue microscopique × 100 Feuille à droite / Touffe à gauche de <i>Rhynchostegium riparioides</i> (Kermia et Yahiaoui, 2017)	31
14	Vue macroscopique d'une touffe de <i>Rhynchostegium riparioides</i> (Kermia et Yahiaoui, 2017).	31
15	<i>Rhynchostegium riparioides</i> (15/12/2017)(Kermia et Yahiaoui, 2017)	32
16	Localisation des transplants des mousses dans la cimenterie de Sour El Ghozlane	33
17	Mode de transplantation des mousses au niveau des 2 sites	33
18	Courbe d'étalonnage de la proline	36
19	Aspect de <i>Rhynchostegium riparioides</i> après un mois de transplantation (Kermia et Yahiaoui, 2017)	38
20	Variation spatio-temporelle de la chlorophylle (a) chez <i>Rhynchostegium riparioides</i>	39
21	Variation spatio-temporelle de la chlorophylle (b) chez <i>Rhynchostegium riparioides</i>	39
22	Variation spatio-temporelle de la chlorophylle (ab) chez <i>Rhynchostegium riparioides</i>	40
23	Variation spatio-temporelle de la proline chez <i>Rhynchostegium riparioides</i> .	41
24	Variation spatio-temporelle du rapport MF/MS chez <i>Rhynchostegium riparioides</i>	42

*Liste des tableaux*

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>page</b>
Tableau I	Les polluants et leurs effets sur l'environnement	9
Tableau II	Les polluants et leurs effets sur la santé	10
Tableau III	Présentation des valeurs des normes actuelles	11
Tableau IV	Analyse de poussière	25
Tableau V	Localisation des sites de transplantation.	32

## **Introduction générale**

Depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, les principales sources de pollution sont industrielles, et caractérisées par l'émission de fortes concentrations en polluants dans l'atmosphère, qui représentent une grave menace pour la santé humaine mais aussi pour l'environnement. C'est ainsi que la pollution atmosphérique est devenue en quelques décennies un des problèmes majeurs de notre société.

Le rythme accéléré du processus d'industrialisation en Algérie n'a pas permis de prendre en compte les aspects environnementaux des projets industriels. En conséquence, des complexes industriels qui émettent des polluants très dangereux pour la santé publique réalisés en zone périphérique urbaine se trouvent actuellement après l'extension des villes; à quelques kilomètres du centre urbain et leurs rejets dans l'air constituent une des pollutions les plus accablantes de l'atmosphère.

La pollution atmosphérique et spécialement celle émise par les cimenteries est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Le ciment est lui-même un élément polluant malgré sa nécessité absolue pour la vie sociale et économique, et la grande importance que lui accorde le monde entier. Les niveaux de cette pollution dans l'air et au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants (Rebouh, 2010).

Il est aisé de constater dans la région de Sour El Ghozlane, qu'il existe un véritable problème de pollution atmosphérique en raison de l'existence d'une part d'un complexe industriel à savoir la cimenterie qui constitue une véritable source de pollution, d'autre part certaines caractéristiques topographiques et climatiques créent un climat propice au développement de la pollution.

Les rejets de poussières et la fumée visible à plusieurs kilomètres à la ronde sont reconnus comme extrêmement nocifs pour la santé publique et les zones agricoles environnantes. Bien que certaines installations industrielles aient été dotées de filtres pour minimiser l'étendue de l'impact sur l'environnement (air, eau, sol et végétation), il demeure que le problème reste encore préoccupant du fait que les particules fines ne peuvent pas être empêchées de s'évacuer dans l'atmosphère (Rebouh, 2010).

La biosurveillance de la qualité de l'air est un outil simple et peu coûteux, complémentaire aux mesures physico-chimiques réalisées par les différents réseaux de surveillance, elle ne permet pas de connaître la concentration de l'air en polluants, mais elle donne des indications assez précises sur les impacts potentiels que ces polluants atmosphériques peuvent avoir sur les êtres vivants (Berrayah et al 2016).

L'utilisation des bioindicateurs repose sur leur caractère intégrateur à l'égard des facteurs de milieu. En effet, les êtres vivants sont le reflet du milieu dans lequel ils évoluent et leurs observations au divers niveau (physiologique, cytologique ou cellulaire) de l'organisation biologique peuvent fournir des indications concernant la qualité et les caractéristiques de milieu (Gombert, 1999).

C'est dans ce contexte que nous avons orienté notre travail sur l'utilisation des bioindicateurs végétaux (mousse) pour la surveillance des émissions de la cimenterie de Sour El Ghozlane, avec pour objectif une évaluation environnementale de notre région d'étude, en mettant en évidence une pollution atmosphérique alarmante liée à la cimenterie et ses effets sur une espèce muscicole et enfin proposer des bioindicateurs pertinents de cette pollution.

Nous avons structuré notre travail en trois parties :

- La première partie est consacrée à des généralités concernant la pollution atmosphérique, la pollution par la cimenterie et le bio indicateur utilisé (une mousse).
- La deuxième partie consacrée à la présentation générale de la région d'étude (Sour el Ghozlane), le choix des sites de transplantation et d'échantillonnage, le protocole expérimental ainsi que toutes les techniques analytiques employées dans ce travail.
- La troisième partie a été réservée aux résultats obtenus et leur discussion.

## **Chapitre I**

### **La pollution atmosphérique**

Ce chapitre est consacré essentiellement à des généralités sur la pollution atmosphérique ainsi que les sources d'émission, tout en présentant la pollution par la cimenterie et les principaux polluants émis et leurs effets sur la santé des organismes vivants et l'environnement.

#### **I.1. Définition de la pollution atmosphérique**

La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence d'impuretés dans l'air pouvant provoquer une gêne notable pour le confort ou la santé et un dommage aux biens. Cette pollution peut provenir de gaz, de vapeurs, de particules liquides ou solides ou encore de rayonnements. C'est aussi une modification chimique et physique du milieu naturel aboutissant à des effets nuisibles pour l'homme (Philippe, 2011).

#### **I.2. Classification des polluants atmosphériques**

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

**I.2.1. Primaire :** émission des polluants directement dans l'atmosphère par un procédé de fabrication ; il s'agit des hydrocarbures ou des composés soufrés et nitrés

**I.2.2. Secondaires :** ces derniers peuvent subir des chaînes de réaction chimiques et photochimiques, plus ou moins complexes, pour former des nouveaux polluants comme l'ozone troposphérique (Koller, 2009).

#### **I.3. Sources de la pollution atmosphérique**

Les polluants que l'on retrouve dans l'atmosphère peuvent être d'origine anthropique, c'est à dire produits par les activités humaines ou d'origine naturelle.

### **I.3.1. Les sources naturelles**

L'émission dans l'atmosphère des polluants gazeux ou particulaires peut être d'origine naturelle :

#### ➤ **Le volcanisme**

Le volcanisme est une des sources importantes de pollution atmosphérique. L'activité volcanique est responsable du rejet dans l'atmosphère de quantités importantes des cendres, d'oxydes de carbone (CO, CO<sub>2</sub>) ou de soufre (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>).

#### ➤ **La foudre**

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).

#### ➤ **Autres sources naturelles de pollution**

- ✓ Par des plantes qui produisent des pollens, dont certains sont responsables d'allergies respiratoires, et des substances organiques volatiles qui contribuent à la formation de l'ozone troposphérique ;
- ✓ Par les incendies qui produisent des particules fines et des gaz (NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>...);
- ✓ Par l'érosion qui produit des poussières minérales reprises par le vent et déposées quelquefois très loin de leur lieu d'origine (ADEME, 2015).

### **I.3.2. Les sources dues aux activités humaines**

Cependant, de nombreux types d'installations industrielles émettent également des polluants dans l'atmosphère, constituent généralement un problème local à l'échelle d'une région ou d'un quartier, et planétaire à grande échelle.

#### **I.3.2.a. Les installations fixes de combustion**

Parmi ces installations, nous pouvons citer les centrales thermiques, les foyers de combustion de l'industrie et les usines d'incinérations des ordures ménagères (Mouaïci, 2002).

#### **I.3.2.b. Les installations industrielles**

Les industries sont des sources de pollution, à la fois par les rejets dus à la combustion, mais aussi par des émissions de chlore, métaux lourds, composés organiques volatils, particules en suspension, qui sont caractéristiques de l'activité de l'industrie.

### **I.3.2.c. Les sources automobiles**

Les moteurs vont rejeter des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), des oxydes de carbone (CO<sub>x</sub>), du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), des particules fines, des hydrocarbures,... . Le secteur des transports a un impact notoire dans la mesure où il intervient pour une part conséquente dans les émissions de polluants réglementés.

### **I.3.2.d. Les activités agricoles**

Sont, elles aussi, à l'origine de pollution, notamment par l'utilisation de plus en plus importante de pesticides et d'herbicides dont les effets sanitaires sont encore mal connus (Borie, 2006).

## **I.4. Facteurs intervenant dans le transport et la diffusion des polluants**

### **I.4.1. Facteurs météorologiques**

Nous dénombrons plusieurs facteurs prédominants : le vent, le gradient vertical de température, l'humidité, la chaleur, le rayonnement solaire et certains obstacles naturels.

Nous allons voir successivement leurs influences.

#### **I.4.1.a. Le vent**

Il résulte du déplacement des masses d'air et dilue continuellement la pollution libérée au point d'émission. Une absence de vent contribuera donc à l'accumulation des polluants près des sources. Sa vitesse augmente généralement avec l'altitude.

#### **I.4.1.b. Le gradient vertical de température**

La température de l'air diminue généralement avec l'altitude de 1 °C tous les 100 m. Le gradient vertical de température est utilisé pour définir la stabilité de l'atmosphère. Si la température décroît trop rapidement, l'atmosphère est instable, ce qui favorise la dispersion des polluants (Mouaïci, 2002).

#### **I.4.1.c. L'humidité, la chaleur et le rayonnement solaire**

L'humidité, la chaleur et le rayonnement solaire peuvent favoriser la transformation chimique des polluants (ADEM, 2015).

### **I.4.2. Facteurs topographiques**

Il s'agit d'obstacles (relief, bâtiments...) qui modifient le régime des vents. La direction de ces derniers sera déviée autour des obstacles. Le vent pourra suivre des trajectoires préférentielles (Vallée...) et sa vitesse sera elle aussi modifiée (plus élevée au sommet des ondulations du terrain et plus faible au fond de celles-ci) (Mouaïci, 2002).



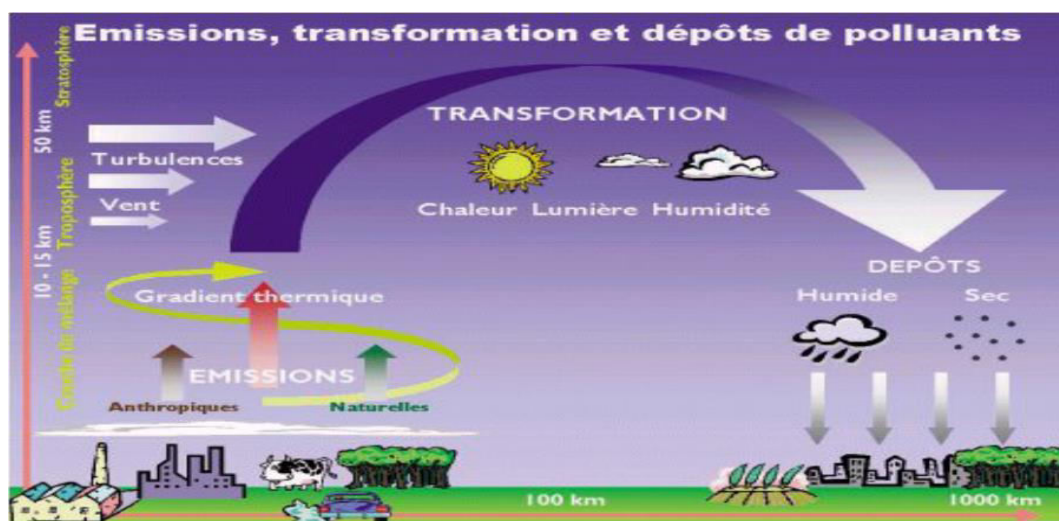


Figure 01 : Cycle de la pollution atmosphérique (Baazaoui, 2009).

## I.5. Les différentes échelles de la pollution atmosphérique

Nous pouvons scinder la pollution atmosphérique en trois catégories :

### 1.5.1. Pollution de proximité et à l'échelle locale

Cela concerne la qualité de l'air ambiant au voisinage des sources d'émissions dans un rayon de quelques kilomètres (DGAC, 2004). Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme.

### 1.5.2. Pollution à l'échelle régionale

Elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire des centaines de kilomètres) (Mouaici, 2002) à un millier de kilomètres des sources d'émission de pollution (DGAC, 2004). Elle regroupe souvent sous ce terme les deux phénomènes de pollution que sont : Les pluies acides et La pollution photochimique (Mouaici, 2002).

### 1.5.3. Pollution planétaire

Il s'agit principalement, au niveau planétaire, de l'appauvrissement de la couche d'ozone et du réchauffement climatique provoqué par l'émission de gaz à "effet de serre", principalement le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) (DGAC, 2004).

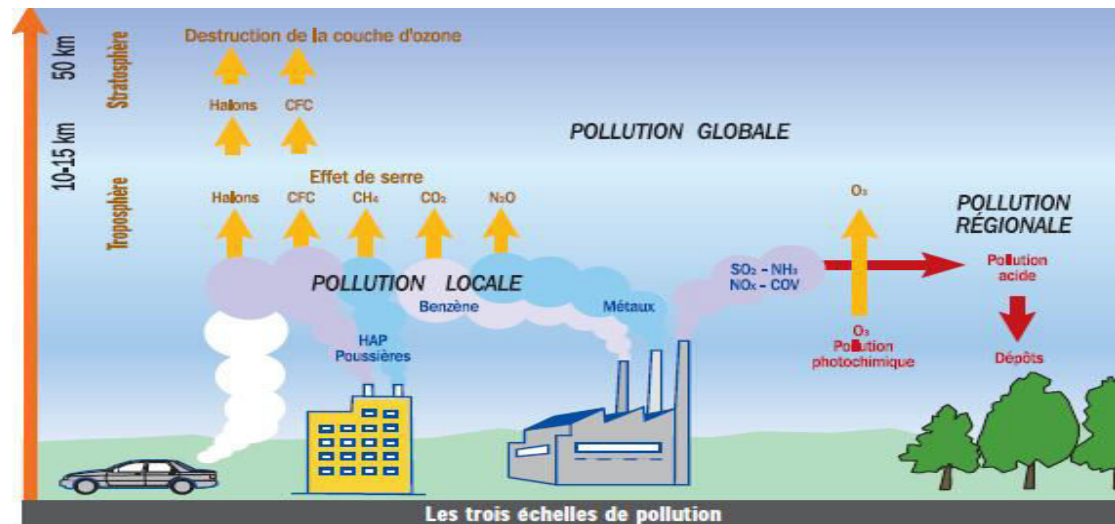


Figure 02 : les trois échelles de la pollution (DGAC, 2004).

## I.6. Quelques polluants atmosphériques

L'étude de la qualité de l'air implique la connaissance des concentrations de polluants présents dans la couche limite atmosphérique (Emeric, 2014). Cette section est donc dédiée aux différents types de polluants, permettant d'identifier les principaux polluants.

### I.6.1. Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz inodore et incolore formé par la combustion incomplète du carbone dans les combustibles et le carburant.

### I.6.2. Les oxyde d'azote

Les NO<sub>x</sub> regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Le NO est issu des phénomènes de combustion à haute température par oxydation de l'azote de l'air.

Le NO<sub>2</sub> est quant à lui, un polluant dit secondaire provenant de la réaction entre le NO et l'oxygène ou l'ozone (O<sub>3</sub>). C'est un gaz jaunâtre, soluble dans l'eau avec une odeur caractéristique (Roda, 2012).

### I.6.3. L'ozone

L'ozone (O<sub>3</sub>) est un composé très réactif issu de la réaction de l'oxygène avec sa forme atomique en présence de rayonnements UV présent dans la stratosphère, il constitue la "couche d'ozone" (entre 10 et 40 km d'altitude). Dans la troposphère (entre 0 et 10 km) (Laffray, 2008).

#### **I.6.4. Le dioxyde de soufre**

Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) est un gaz formé lorsque le soufre est exposé à l'oxygène à des températures élevées, comme par exemple lors de la combustion des combustibles fossiles, le raffinage du pétrole, ou encore la fonte des métaux.

#### **I.6.5. Les composés organiques volatils**

Les composés organiques volatils (COVs), comme les hydrocarbures (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), ainsi que d'autres produits chimiques organiques, sont émis à partir d'un très large éventail de sources. On peut citer à nouveau comme sources principales la combustion de combustibles fossiles, les activités industrielles, la combustion de la biomasse durant les incendies, et les émissions naturelles de la végétation (Emeric, 2014).

#### **I.6.6. Les aérosols**

Comme la plupart des polluants atmosphériques, les particules peuvent être d'origine anthropique (c'est le cas notamment des particules issues de la combustion d'énergies, des procédés industriels et agricoles ou de l'extraction de matériaux) ou naturelle (par exemple : les poussières d'origine désertique ou volcanique, issues de l'érosion des sols ou dues aux feux de forêts) (MEDDE, 2015).

### **I.7. Les saisons pollution**

#### **I.7.1. Pollution hivernale**

Pollution acido-particulaire caractérisée par la présence d'oxydes d'azote, de dioxyde de soufre et de particules. Un temps froid et des journées peu ensoleillées favorisent la formation d'inversions de températures pouvant durer plusieurs jours. Les polluants provenant des chauffages, des industries et du trafic automobile, s'accumulent alors sous la couche d'inversion.

#### **I.7.2. Pollution estivale**

Pollution photochimique caractérisée par une hausse des teneurs en ozone troposphérique. La chaleur et l'ensoleillement participent à la formation de l'ozone troposphérique, ce polluant secondaire résulte de l'action du soleil sur des polluants primaires (NO<sub>x</sub>, COV, CO) provenant surtout des gaz d'échappement des industries (Mouaïci, 2002).

### I.8. Effet de la pollution atmosphérique sur les végétaux

Il existe de nombreuses voies d'entrée du polluant dans les végétaux :

Par les stomates, par la cuticule des feuilles, par les bourgeons, par les blessures, par l'écorce, et par les cicatrices au niveau des feuilles. Les atteintes peuvent être perceptibles et se traduisent par des nécroses sur les feuilles, des chloroses, une réduction du nombre de fleurs ou même un décollement de l'épiderme foliaire, ralentissement de la photosynthèse et de la croissance.

### I.9. Effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement

Le tableau suivant Les différents types des polluants et leurs effets sur l'environnement :

**Tableau I:** Les polluants et leurs effets sur l'environnement (Casale, 2006).

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

### I.10. Les effets sur la santé

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

- **Les voies respiratoires** : surtout par inhalation ; de nombreuses études ont prouvé que les atteintes respiratoires, comme une irritation des muqueuses des voies aériennes, ou l'augmentation de certaines pathologies comme l'asthme et les allergies sont plus fréquentes dans les zones de fortes pollutions. La plupart

des gaz atteint les alvéoles pulmonaires. Les particules y pénètrent alors plus ou moins selon leur taille ;

- **La voie digestive** : par l'ingestion d'aliments contaminés par les retombées des polluants sur le sol et dans l'eau ;
- **La voie cutanée** : elle concerne seulement quelques toxiques comme les insecticides. Ils peuvent traverser la peau pour pénétrer dans l'organisme et provoquer des pathologies (Casale, 2006).

**Tableau II:** Les polluants et leurs effets sur la santé (Casale, 2006).

<b>Polluants</b>	<b>Effets sur la santé</b>
<b>CO</b>	Fixation du CO sur l'hémoglobine du sang : anoxie, céphalée, vertiges...
<b>CO<sub>2</sub></b>	Troubles pulmonaires
<b>SO<sub>2</sub></b>	Gaz irritant, inflammations pulmonaires
<b>O<sub>3</sub></b>	Céphalées, toux, irritations oculaires, altérations des fonctions pulmonaires
<b>Poussières</b>	Attaque des muqueuses nasales, effets cancérigènes probables, problèmes cardio-vasculaires
<b>Pb</b>	Troubles sanguins, de la croissance, et troubles neurologique si ingestion importante
<b>COV</b>	Irritations oculaires, toux, troubles du système nerveux, risque cancérigène.
<b>NOx (NO+NO<sub>2</sub>)</b>	Altération des fonctions pulmonaires, inflammation des bronches, irritation

### **I.11. Législation et norme de qualité de l'air en Algérie :**

Pour prévenir et réduire les pollutions et les nuisances, l'Algérie dispose d'un arsenal juridique important qui s'articule autour de la loi cadre sur la protection de l'environnement 83- 03 du 05 février 1983, qui a été suivie par toute une série de textes d'application.

### **I.12. Normes internationales de qualité de l'air :**

L'implication première des gouvernements consiste à mettre en place au niveau international et national ce que l'on appelle des normes pour la qualité de l'air. C'est à dire

des seuils de concentration journalière, horaire et annuelle, à respecter pour assurer une qualité de l'air la moins préjudiciable possible.

**Tableau III:** Présentation des valeurs des normes actuelles (Emeric, 2014).

<b>Polluants</b>	<b>Normes Européennes</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	Moyenne sur 8 heures : 120 µg/m <sup>3</sup> . Seuil d'information : 180 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire. Seuil d'alerte : 240 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire.
<b>PM<sub>10</sub></b>	Moyenne annuelle : 40 µg/m <sup>3</sup> . Moyenne journalière : 50 µg/m <sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 35 jours par an.
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Moyenne annuelle : 20 µg/m <sup>3</sup> .
<b>CO</b>	Moyenne sur 8 heures : 10 000 µg/m <sup>3</sup> .
<b>SO<sub>2</sub></b>	Moyenne journalière : 125 µg/m <sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 3 jours par an. Moyenne horaire : 350 µg/m <sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 24 heures par an. Seuil d'alerte : 500 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire sur 3 heures consécutives.
<b>NO<sub>2</sub></b>	Moyenne annuelle : 40 µg/m <sup>3</sup> . Moyenne horaire : 200 µg/m <sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 18 heures par an. Seuil d'alerte : 400 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire sur 3 heures consécutives.

Ces normes sont révisées périodiquement afin de tenir compte des dernières connaissances scientifiques, et sont établies à partir des recommandations de l'OMS: (Organisation Mondiale de la Santé) et d'autres expertises scientifiques indépendantes (Emeric, 2014).

### **I.13. La pollution atmosphérique par les émissions de la cimenterie :**

La fabrication du ciment est à l'origine de rejets de polluants dans l'air et d'émissions sonores. Chacune de ces opérations engendre des pollutions directes ou indirectes affectant les éléments de la nature. La cuisson du clinker est l'étape qui contribue le plus aux problèmes environnementaux associés à la fabrication du ciment, à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air. En fonction des procédés de production mis en œuvre, les cimenteries rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets. Dans de rares cas, des rejets dans l'eau sont possibles

Les principales émissions de la fabrication du ciment sont les émissions atmosphériques des fours. Elles sont dues aux réactions physico-chimiques des matières premières et à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours. Les principaux

constituants des gaz résiduels d'un four à ciment sont l'azote (issu de l'air comburant), le CO<sub>2</sub> (produit par la calcination du CaCO<sub>3</sub> et par la combustion), la vapeur d'eau (produite par la combustion et les matières premières) et l'excès d'oxygène.

Il existe également des émissions de poussières canalisées provenant d'autres sources, comme les opérations de broyage et de manutention (matières premières, combustible solide et produit). Tous les stocks extérieurs de matières premières et de combustibles solides ainsi que tous les systèmes de transport des matériaux, y compris ceux servant à charger le ciment, constituent un risque potentiel d'émissions de poussières diffuses qui peuvent être importantes si elles ne sont pas prises en compte correctement du point de vue technique ; des problèmes de nuisance peuvent apparaître localement si elles ne sont pas réduites et maintenues à un niveau bas (Rebouh, 2010).

## **Chapitre II**

# **Méthodes de surveillance de la qualité de l'air**

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

### **II.1. La biosurveillance de la qualité de l'air**

D'après Garrec et Van Haluwyn, (2002) la biosurveillance est l'utilisation, à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes, pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution.

Tandis que l'approche physico-chimique ne permet qu'une analyse indépendante des différents polluants préalablement sélectionnés pour représenter un niveau de pollution, la biosurveillance apporte, elle, 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.

La biosurveillance ne prend toute sa valeur que lorsqu'elle « établit une comparaison avec une situation témoin considérée comme « naturelle », évaluant ainsi un degré d'altération par rapport à une « normalité » pour une région donnée et en tenant compte des paramètres environnementaux (Faburé, 2009).

Ainsi la biosurveillance opère selon deux approches pour diagnostiquer une situation : l'approche passive et l'approche active.

En biosurveillance végétale : l'approche dite de surveillance **passive** qui consiste à utiliser les matrices environnementales in situ (Merlen, 2015). C'est l'analyse des végétaux en place sur un site par rapport aux relevés de pollution de ce site et des paramètres stationnels, comme le climat, tout en considérant également les variabilités génétiques du végétal étudié (Garrec et Van Haluwyn, 2002).



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

La biosurveillance recouvre quatre concepts essentiels :

### **II.1.1. La bioindication**

Evoque le niveau individuel, les effets sont visibles à l'œil nu, et ils se traduisent par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (notamment de la croissance et de la reproduction). Cette utilisation concerne seulement les végétaux dits « sensibles ».

### **II.1.2. La bioaccumulation**

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

### **II.1.3. La biointégration**

Qui consiste en l'observation de la modification de la présence, de l'abondance d'espèces au sein de populations (Faburé, 2009), de communautés. Actuellement ce concept est notamment utilisé pour l'étude des changements d'aires de répartition ou de disparition d'espèces imputables au changement climatique (Cuny et al, 2008).

### **II.1.4. Le biomarqueur**

Le biomarqueur se situe au niveau infra-individuel (altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles) (Ayrault, 2011).

## **II.2. Les avantages et les inconvénients de la biosurveillance**

### **II.2.1. Les avantages :**

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

### II.2.2. Les inconvénients :

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

## II.3. Les bryophytes

### II.3.1. Généralités

Ce sont des végétaux anciens, assez discrets et méconnus, faisant la transition évolutive entre les algues (toutes à thalle) et les végétaux vasculaires ou supérieurs (tous à tige typique), tels que les ptéridophytes (fougères et prêles) et les plantes à fleurs. Les bryophytes ne sont que partiellement émancipés du milieu aquatique. Ce sont des cryptogames, se reproduisant grâce à des spores libérées et disséminées par le vent et possédant un cycle à deux générations séparées (Manneville, 2011).

De par leurs propriétés morphologiques et physiologiques (l'absence de système racinaire et de tissus conducteurs développés faisant du dépôt atmosphérique la principale source en eau et éléments nutritifs) (Leblond, 2004).

Les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent, notamment aux ETM, ce qui en fait des organismes adéquats pour la biosurveillance de ceux-ci (Rzepka et Cuny, 2008), donc sont couramment utilisées comme sentinelles de la pollution métallique atmosphérique (Leblond, 2004).

### II.3.2. Définition

De bryo (issu du grec ancien, bruon (mousse) et phyte (issu du grec ancien, phyton (végétal), les bryophytes ont fait partie des premiers végétaux terrestres (Foan, 2012) ; et représentent une part importante de la végétation des tourbières (Muller et *al*, 2002). Les bryophytes correspondent au premier embranchement des Archégoniates, troisième niveau d'organisation des végétaux, ce sont des végétaux généralement autotrophes (Faburé, 2009). Cet embranchement comprend trois classes :

- ✚ Hepatophytes (marchantiophytes ou hépatiques) ;
- ✚ Anthoceroophytes (anthocérotes) ;
- ✚ Muscinées (mousses ou bryophytes) (Foan, 2012).

Le nombre d'espèces différentes que l'on peut rencontrer à travers le monde se situe entre 15 000 et 25 000 (Burgisser et Cailliau, 2012).

### **II.3.3. Classification des bryophytes :**

Les bryophytes l'emboîtement successif des trois sous embranchements : les Hépatique ou Marchantiophytes, les Anthocérotes ou Anthocerotophytes et les Mousses aux Bryophytes (Dupont et Guignard, 2012).

#### **II.3.3.1. Les hépatiques :**

Constituent environ le quart des espèces (9600 espèces). Elles sont divisées en deux sous-groupes : les hépatiques à thalle et les hépatiques à feuilles (Burgisser et Cailliau, 2012). Elles présentent souvent des lobes comme un foie, d'où leur nom marchantia. Il n'y a pas de stomates, ni sur le sporogone, ni sur le thalle, bien que des pores permettent les échanges gazeux chez plusieurs espèces. Un marqueur chimique, l'acide lunatique, caractérise le groupe.

#### **II.3.3.2 : Les bryophytes**

Les bryophytes comportent les polytrics, les Mousses proprement dites (15000 espèces) et les Sphaignes (150 espèces) ; ce clade est marqué par l'apparition d'ébauches de tissus conducteurs. Elles ont un protonéma filamenteux, une tige feuillée à symétrie radiale et une capsule typique. Leurs tiges et feuilles ne sont pas comparables à celles des végétaux terrestres.

#### **II.3.3.3. Les anthocérotes**

Petit groupe d'une centaine d'espèces, longtemps rattaché aux hépatiques, marqué par l'apparition des stomates aussi bien sur le gamétophyte que sur le sporophyte ; l'archégone (organe sexuel femelle) est protégé en étant inclus dans les tissus du gamétophyte ; le sporophyte est capable d'une certaine croissance en hauteur grâce à un méristème basal (Dupont et Guignard 2012).

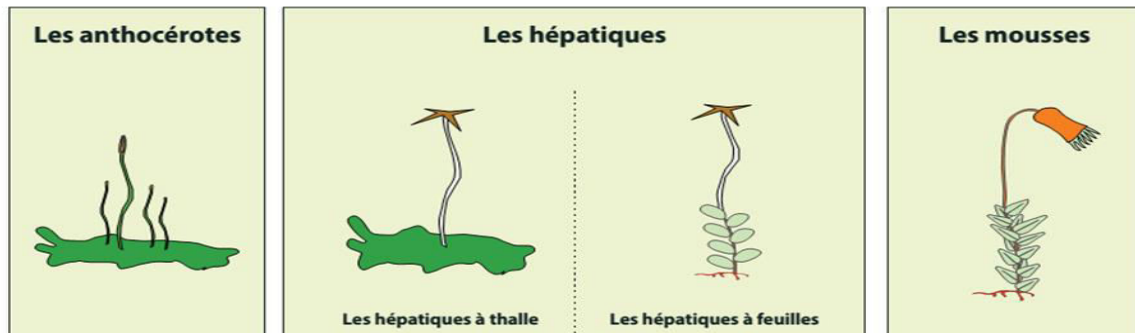
### **II.3.4. Appareil végétatif**

Chez les « bryophytes », on voit apparaître une véritable tige avec rameaux portant des feuilles assimilatrices, cet appareil végétatif est nommé cormus. Mais celui-ci est incomplet car dépourvu des racines, il porte des rhizoïdes.

La morphologie est variable chez les trois taxons, l'appareil végétatif est :

- ✚ Un axe feuillé (cormus) ou un thalle chez les Marchantiophyta (Hépatiques) ;
- ✚ Un thalle chez les Anthocerotophyta (Anthocérotes) ;
- ✚ Un axe feuillé (cormus) chez les Bryophytes (Mousses).

L'appareil végétatif est un axe feuillé fixé au sol par des rhizoïdes unicellulaires chez les Marchantiophyta et pluricellulaires les Anthocerotophyta et chez les Bryophytes (Amirouche et *al*, 2009).



**Figure03** : Les différents types des bryophytes (Burgisser et Cailliau, 2012).

#### II.4.4. Cycle de reproduction des mousses

Le cycle de vie des bryophytes commence par une spore se développant en une structure filamenteuse connue comme protonéma à partir duquel apparaît un jeune bouton qui se développe en un gamétophyte qui peut être une plante feuillée ou thalloïde (Pazo, 2012).

##### II.4.4.1. Reproduction sexuée

Le cycle de développement des mousses comporte 2 phases successives :

➤ **La phase diploïde (sporophyte) est très court, réduite au sporogone**

De plus, elle reste en relation physiologique étroite avec le gamétophyte sur lequel elle se développe

➤ **Le gamétophyte est représenté par des organes végétatifs peu différenciés**

Les organes végétatifs sont à  $n$  chromosome, ce qui limite leur importance : en effet, les structures vivantes à  $n$  chromosome sont généralement de petite taille et peu différenciées (Dupont et Guignard, 2012).

Quand la plante feuillée ou thalloïde atteint la maturité, elle produit des structures reproductrices : l'antheridie (organe reproducteur mâle) et l'archégone (organe reproducteur femelle). Grâce à l'eau de pluie, un anthérozoïde se dépose sur l'archégone, nage à travers la substance mucilagineuse dans le canal et finalement atteint l'oosphère, s'unit avec cette dernière et forment avec elle le zygote. Le zygote subit la division mitotique pour produire un embryon multicellulaire qui éventuellement se développe en sporophyte. Dans la capsule, les cellules de sporogone produisent les spores tétrades par méiose ou division réductionnelle. Quand le sporophyte atteint la maturité, la capsule s'ouvre, libère les spores. Les spores sont soit apportées par le vent, dispersées et s'éloignent de la plante mère. Sous les conditions

climatiques favorables et un substrat souhaitable, elles germent pour produire le protonéma et le cycle se répète (Pazo, 2012).

#### **II.4.4.2. Reproduction asexuée :**

En marge de cycle sexué, très fréquemment les bryophytes se multiplient par voie végétative, c'est-à-dire sans fécondation ni réduction chromatique (Roland et *al*, 2008). Elles se reproduisent de manière asexuée : par propagules, fragmentation ou bourgeonnement. Ces modes de reproduction assurent une descendance rapide et nombreuse (Burgisser et Cailliau, 2012). Pour les espèces dont on ne connaît pas de sporophytes, la reproduction asexuée est la seule méthode de reproduction (Denayer, 2000).

#### **II.4.5. Ecologie des mousses :**

Les bryophytes sont des plantes de toutes les formes, de toutes les couleurs et de (presque) toutes les tailles. Elles poussent dans des milieux très divers et, contrairement aux idées reçues, pas nécessairement exclusivement dans les endroits humides (Burgisser et Cailliau, 2012). La pluparts vivent dans une colonie et couvrent le sol d'un tapis (Roland et *al*, 2008). Plus ou moins continu dans les sous-bois riches en humus elles constituent l'essentiel de la strate végétal basse ou strate muscinale (Roland et *al*, 2008 et Amirouche et *al*, 2009). Certains s'établissent sur les murs et les rochers. Ils colonisent tous les milieux à l'exception du milieu marin où ils sont totalement absents (Amirouche et *al*, 2009).

#### **II.4.6. Rôles et intérêt des mousses :**

Les bryophytes, bien que petites et en apparence insignifiantes, jouent un rôle important à différents égards dans l'écosystème:

- ✚ Comme tout organisme vivant, les mousses jouent un rôle dans l'équilibre des écosystèmes et plus largement dans l'environnement qui nous entoure ;
- ✚ La rétention de l'eau grâce à leur fonction d'"éponge" ;
- ✚ La stabilisation du sol, et donc la limitation de l'érosion ;
- ✚ La préparation des sols pour accueillir des plantes à fleurs en créant un substrat riche en matière organique (DGNP, 2013).
- ✚ Fondatrices des tourbières, ces dernières ou haut-marais, sont constituées de mousses spéciales appelées sphaignes. Ces biotopes très particuliers abritent des animaux et des végétaux uniques dont les plantes carnivores.
- ✚ Des puits à CO<sub>2</sub> principal responsable du réchauffement climatique, le CO<sub>2</sub> est fixé durablement dans la tourbe sous forme de carbone. Les haut-marais contribuent ainsi à

atténuer l'effet de serre de manière significative. A échelle mondiale, la quantité de carbone stockée dans les tourbières est 3 fois plus grande que dans les forêts tropicales.

- ✚ Un habitat pour de petits êtres vivants : les coussinets de mousses abritent une quantité innombrable de petits animaux: acariens, collemboles, tardigrades, araignées, larves de tipules, coléoptères et bien d'autres.
- ✚ Les mousses ravivent les vieux murs et habillent les forêts d'un beau manteau émeraude que l'on peut admirer à la loupe ou sur lequel il fait bon s'allonger ou marcher (Hofmann, 2011).

#### **II.4.7. Utilisation des mousses comme bio indicateurs de pollution :**

Les mousses sont des espèces, sensibles aux variations de l'environnement, se comportent comme des bioindicateurs ou des bioaccumulateurs de la pollution (Dupont et Guignard, 2012). Elles sont donc aussi utilisées pour mesurer la pollution car elles donnent une valeur précise du taux de métaux lourds présent dans le milieu où elles poussent (Hofmann, 2011). Ce sont des petites plantes autotrophes, elles accumulent dans leurs tissus des quantités importantes de métaux lourds, qu'elles prélèvent à partir du substrat, de l'atmosphère ou de l'eau, les mousses sont utilisées dans certains pays pour le contrôle de la pollution de l'environnement.

Les mousses sont très utilisées dans la détection de la pollution atmosphérique d'origines anthropiques. L'utilisation des mousses est une méthode qui a été adoptée depuis la fin des années 60 en suède, elle est un peu coûteuse, elle permet une détermination plus aisée (Maizi, 2013).

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

## I.1. localisation géographique :

La commune de **Sour El Ghozlane** est située dans la Daïra de SEG, Wilaya de Bouira ; entre la latitude 36° 8' 50" Nord et la longitude 3° 41' 26" Est. Elle s'étend sur une superficie de 720 km<sup>2</sup>, elle compte 50 120 habitants depuis le dernier recensement de la population (2008).

Sour El Ghozlane est située à 17 km au Sud-Est d'Ain Bessem, et entourée par El Hachimia, Raouraoua et Dechmia ; elle est située à une altitude de 836m au-dessus du niveau de mer (Figure 04).



**Figure 04** : Localisation de la commune de Sour El Ghozlane (Wilaya de Bouira)  
(ANIREF, 2011).

## I.2. Description de la cimenterie de Sour El Ghozlane :

La société des ciments de Sour El Ghozlane (SC.SEG) filiale du groupe industriel des ciments d'Algérie « GICA » est une société par actions (SPA) d'un capital social de 1900000000 DA en partenariat avec le groupe Italien BUZZI UNICEM depuis février 2008 (65% GICA et 35% BUZZI UNICEM). Elle a été créée en 1980, est rentrée en exploitation en 1983.

La cimenterie de Sour El Ghozlane a été construite par F.L. Smith Danemark, elle est implantée au niveau de la commune de Sour El Ghozlane au lieu-dit col de Beccouche à 120km de la capitale Alger, et à 25km de Bouira et à 7km de la région de Sour El Ghozlane, cette position géographique permet à la cimenterie de jouer un rôle économique important dans la région du centre du pays.



**Figure 05 :** Vue aérienne de la situation de la cimenterie (SC-SEG) (Source : Google Earth, 2017).

Elle dispose d'une capacité de production d'un (1) million de tonnes de ciment/an de type « CPJ-CEMII/A42, 5 norme NA 442/2000 ».

Elle assure l'approvisionnement en ciment de plusieurs wilayas du pays à savoir : Bouira, Tizi-Ouzou, Alger, Laghouat, Djelfa, Boumerdès, Ghardaia, Blida, Médéa, Tissemsilt, Tipaza, Msila, Illizi, Bejaia et B.B.Arreidj.

Cette cimenterie utilise le procédé économique à voix sèche pour la fabrication de ciment. L'énergie électrique nécessaire à la production est 112737948 kwh/an et l'énergie

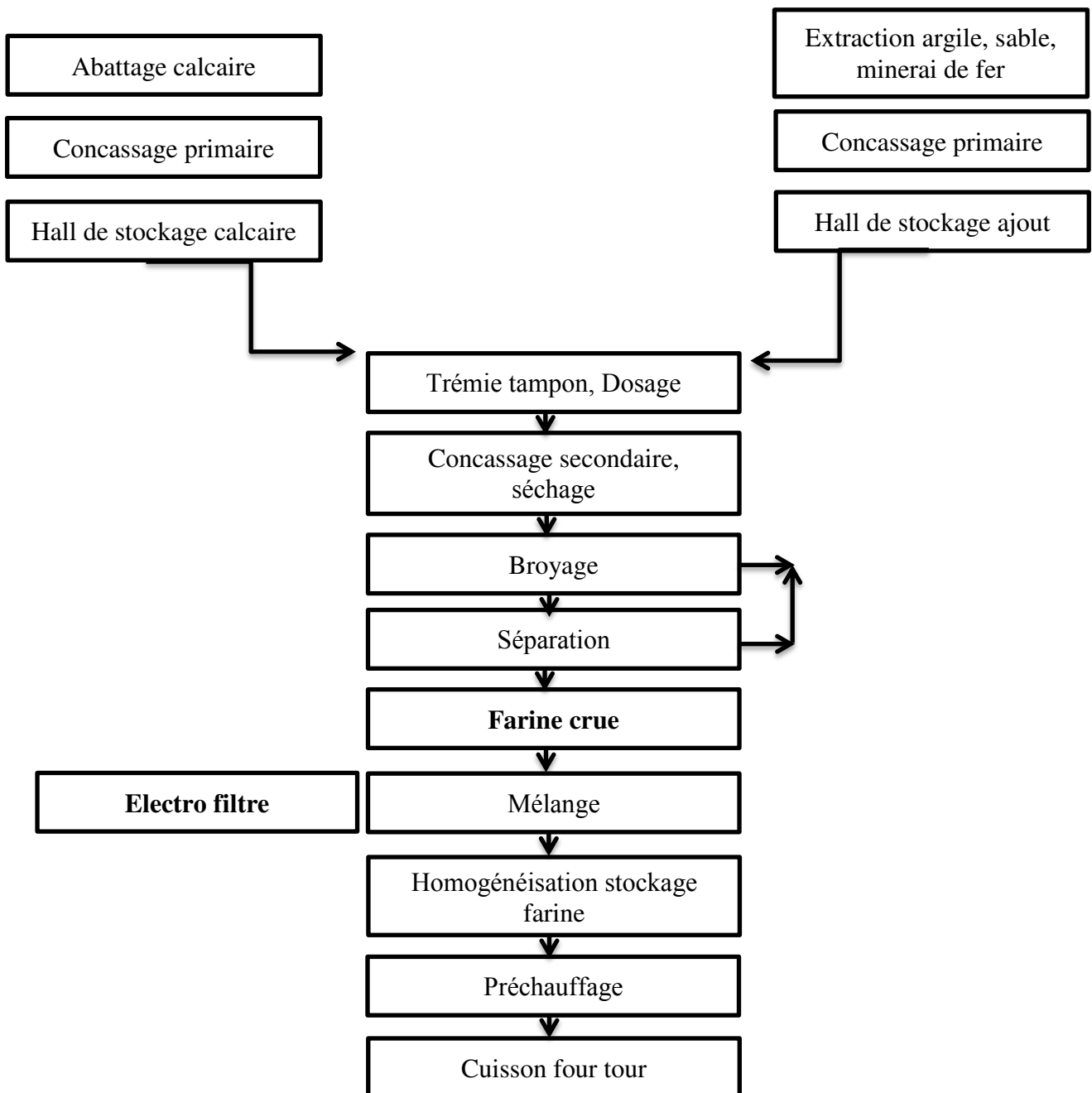


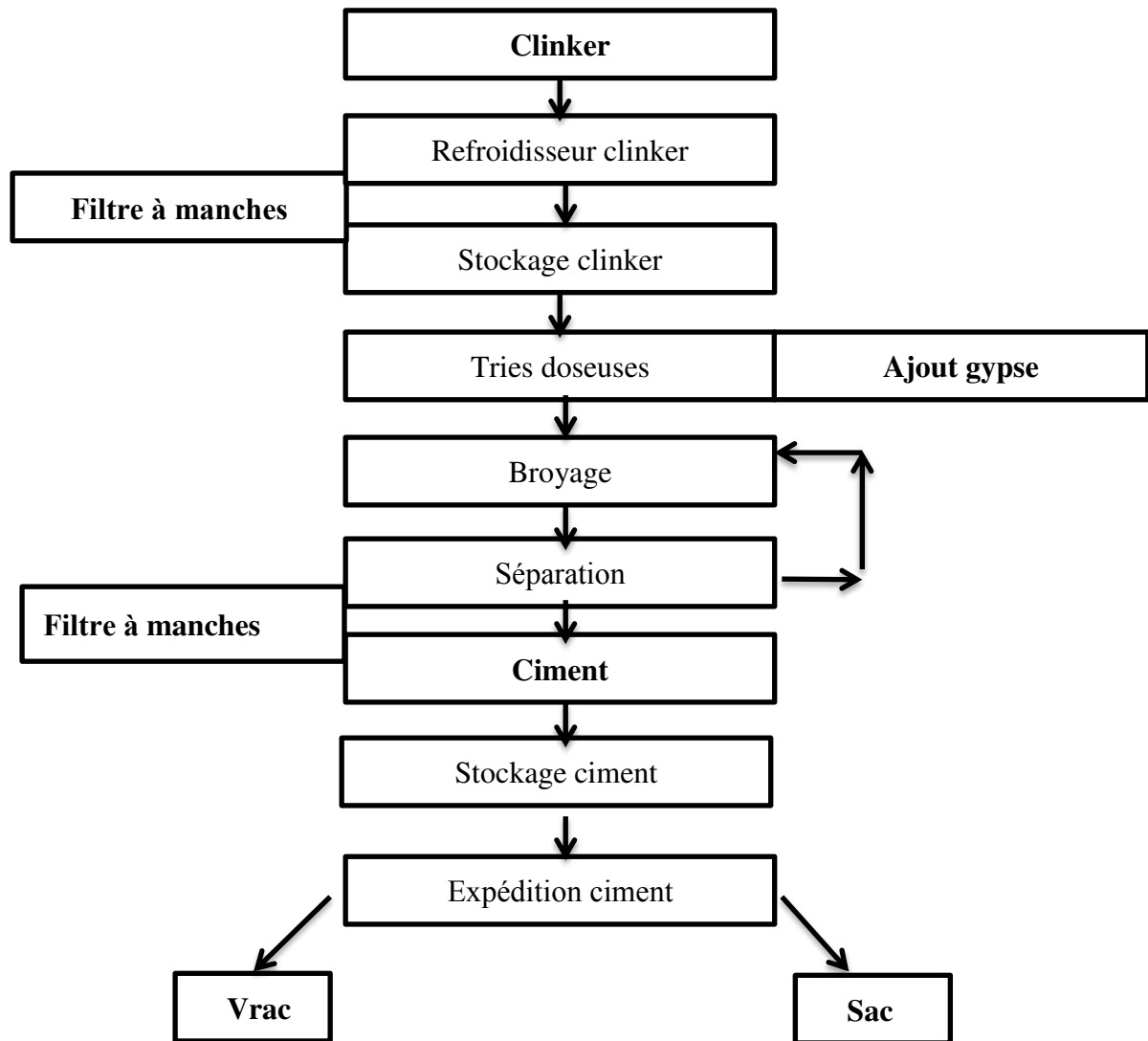
thermique nécessaire au séchage de cru et la cuisson est fournie par le gaz naturel est 78639265 Nm<sup>3</sup>/an.

### I.3. Processus de fabrication du ciment

Le ciment est produit à partir du calcaire, de l'argile, du minerai de fer et du sable, le calcaire et l'argile sont extraits de nos carrières les autres matières premières sont achetées. Le ciment produit est analysé à chaque phase du processus de fabrication.

La figure 06 illustre les différentes étapes ou opérations unitaires communes aux procédés de fabrication de ciment





**Figure 06:** Schéma simplifié du processus de fabrication

#### I.4. Environnement de SC-SEG :

##### ➤ Hydrologie :

Les ressources hydrologiques de la zone d'étude sont représentées par le seul barrage de l'Oued Lakhal, situé dans la commune de Ain Besseme dont la capacité est de 30.106 m<sup>3</sup> (distante de l'usine de 20 Km).

Le réseau hydrographique de la zone de la cimenterie se limite à quelques cours d'eau à caractère temporaire qui prennent naissance à partir de Djebel Santouh (lieu la carrière calcaire en exploitation) et de Djebel Fardja.

➤ **Hydrogéologie :**

L'alimentation en eau pour les besoins de la cimenterie est réalisée à partir du barrage de l'Oued Lakhal (80%) grâce à la station de pompage SP2 située à 100 m au sud de l'usine.

Le reste des besoins est assuré par une station de pompage située au lieu-dit Guelt Zerga à 8 Km au Nord-Ouest de l'usine en amont du barrage sur l'Oued lakhal. Aux alentours du site de l'usine, le niveau hydrostatique de l'eau mesuré dans les sondages au cours des recherches avant l'implantation de l'usine varie de 3.44 à 7.31 m. ce même niveau existe aussi dans les puits de la région.

➤ **Faune et flore :**

La région où est implanté le site de la cimenterie n'abrite pas d'espèces animales et végétales protégées.

➤ **Sécurité et environnement :**

La sécurité des travailleurs et la préservation de l'environnement constituent une préoccupation majeure et un levier conséquent pour la société des ciments de Sour El Ghozlane.

Des investissements importants ont été réalisés pour l'élimination des nuisances et le respect de l'environnement notamment un filtre à manches qui a été mis en exploitation et qui réduit le taux d'émission des poussières a moins de 10mg/Nm<sup>3</sup>.

### **I.5. Emissions atmosphériques de la cimenterie de Sour El Ghozlane**

La fabrication du ciment est à l'origine de rejets de polluants dans l'air et d'émissions sonores. Chacune de ces opérations engendre des pollutions directes ou indirectes affectant les éléments de la nature. La cuisson du clinker est l'étape qui contribue le plus aux problèmes environnementaux associés à la fabrication du ciment, à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air. En fonction des procédés de production mis en œuvre, la cimenterie rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets.

Les principales substances polluantes émises dans l'atmosphère sont : des poussières, des oxydes d'azote (NOx) et du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). S'y ajoutent des émissions suivantes :

- Le dioxyde de carbone(CO<sub>2</sub>) ;
- Le monoxyde de carbone (CO) ;
- Les composés organiques volatils (COV) ;
- Les métaux lourds par exemple : (As), (Cd), (Hg), (Pb), (Tl) et (Zn) ;

- Le fluorure d'hydrogène (HF);
- Le chlorure d'hydrogène (HCl) et de carbone organique total.

La pollution par les poussières représente la forme de pollution la plus importante au niveau de la cimenterie. Les principales sources d'émissions de poussières sont :

- Concassage des matières premières ;
- Stations de broyage des matières premières ;
- Unité de broyage du ciment ;
- La cuisson du clinker ;
- Stockage des matières premières et du ciment, l'expédition du ciment.

Donc les poussières provenant des cimenteries peuvent être émises avant, pendant et après la cuisson de clinker depuis l'explosion au niveau de la carrière jusqu'à l'ensachage et le chargement du ciment.

Ces pollutions ne sont pas uniquement une agression contre l'environnement, mais peuvent être une source de gêne pour les riverains tout en constituant des sources de conflits potentielles (GIKA, 2017).

**Tableau IV** : Analyse de poussière (GIKA, 2017).

<b>Oxydes</b>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P.A.F	SO <sub>3</sub>	LFS	MS	MAF
<b>Teneur (%)</b>	11.38	3.66	2.09	43.27	1.88	0.75	0.16	36.10	0.83	115.25	1.98	1.75

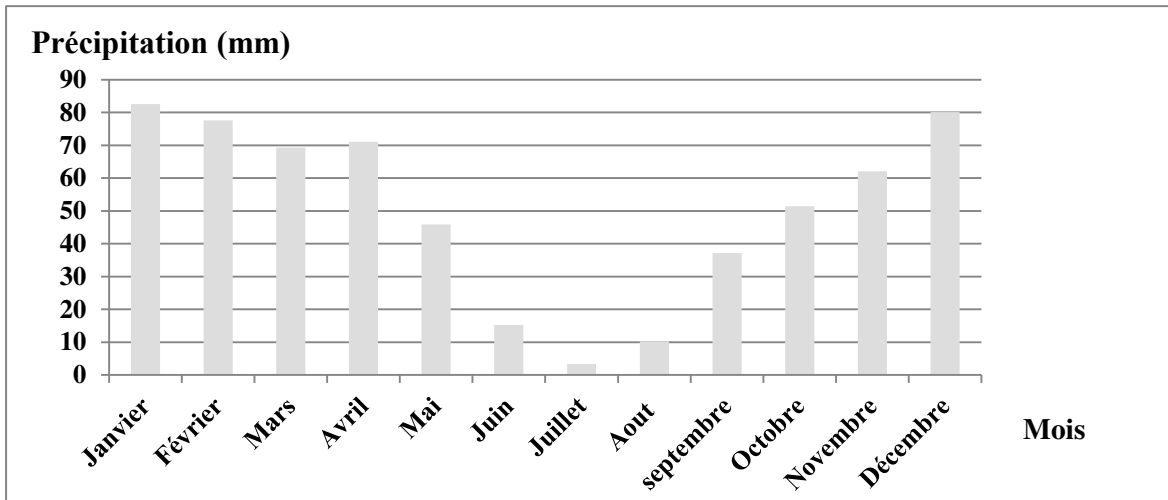
### **I.6. La climatologie de la région d'étude :**

Les factures météorologiques qui ont un rôle particulièrement important dans la diffusion et la dilution des polluants sont : la température, les précipitations, l'humidité et les vents. La région de la wilaya de Bouira est caractérisée par des hivers rigoureux et des étés secs c'est-à-dire un climat de type continental Semi-aride à variante tempérée Les données climatiques dans la présente étude sont fournies par la station météorologique de Bouira et couvrent une période 2003 à 2013.

#### **I.6.1. Pluviométrie moyenne mensuelle**

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres, mais aussi pour certains écosystèmes limniques tels les mares et les lacs temporaires.

Les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées par la station de Bouira sont représentées dans la Figure 07 :

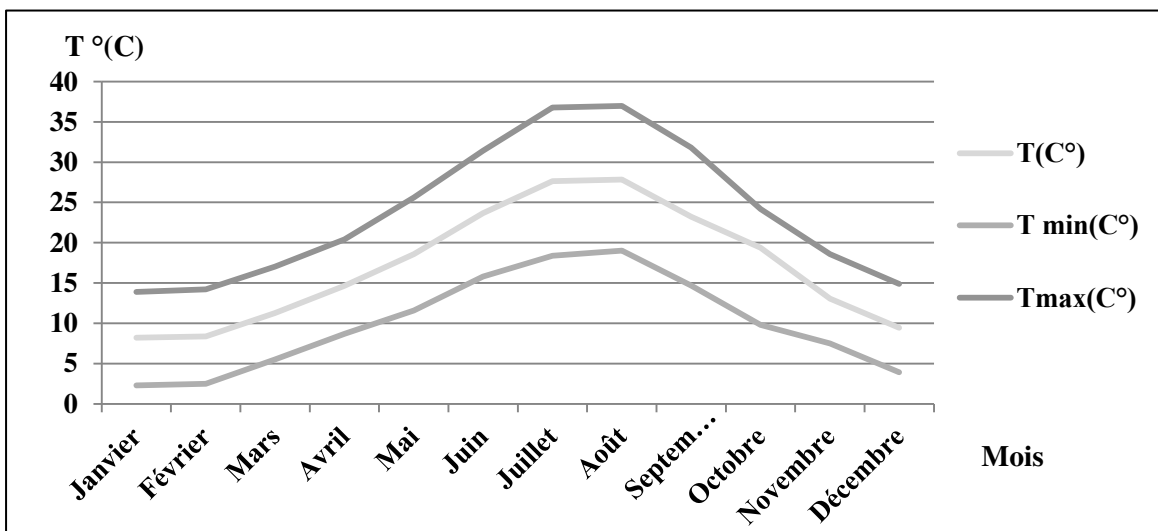


**Figure 07 :** Pluviométrie moyenne mensuelle (2003 – 2013).

Les précipitations sont relativement abondantes, ce paramètre est important du fait qu'il conditionne l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eau.

L'analyse de diagramme obtenu à partir des pluviométries moyennes mensuelle montre que le maximum de précipitation correspond au mois de janvier avec une hauteur maximale de 80 mm, Notons également que les précipitations atteignent leurs valeurs minimales en saison estivale au mois de juillet avec une hauteur de 5mm

### I.6.2. Température moyenne mensuelle



**Figure 08 :** Température moyenne mensuelle (2003 – 2013).

D'après la figure 08, on distingue au cours de l'année deux périodes :

Une période froide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois de Avril. Les mois de Décembre, Janvier et Février sont les mois les plus froids avec respectivement 3.9 °C et 2.3°C et 2.5 °C.

Une période chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre. Les mois de Juillet et Août sont les mois les plus chauds de l'année avec respectivement 35.8° C° et 36 C°.

### I.6.3. Humidité moyenne mensuelle

L'humidité atmosphérique est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique, source de toutes les précipitations, elle contrôle en outre pour une large part les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale.

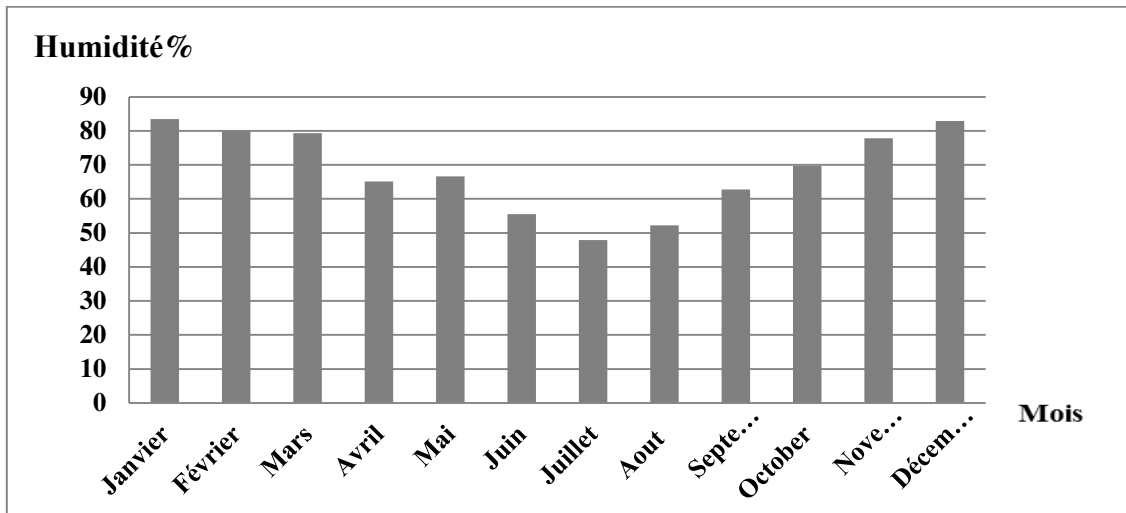


Figure 09 : Humidité moyenne mensuelle (2003 - 2013).

D'après la figure 09 on trouve que l'humidité est souvent supérieure à 50 % sauf en été avec une valeur minimale de l'ordre 47,9 % au mois de juillet.

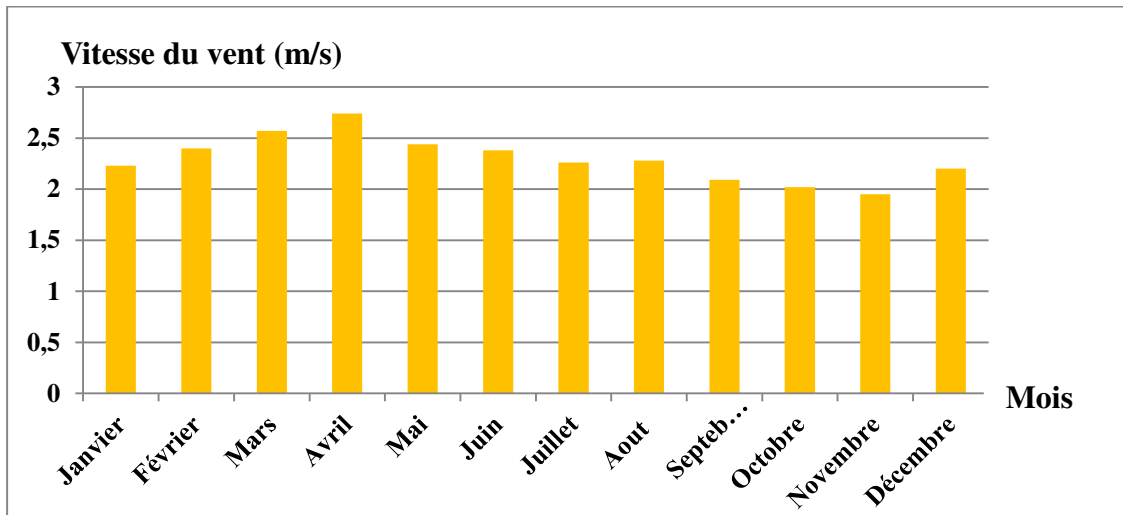
La valeur maximale est de 83,5% au mois de janvier ceci indique que l'atmosphère se trouve dans un état plus ou moins proche de la condensation

#### I.6.4. Vitesse du vent moyenne mensuelle :

Le vent est un facteur climatique non négligeable pour le fonctionnement des différents écosystèmes de la région.

Les vents qui prédominent dans la zone d'étude sont ceux du Nord-Ouest (NO) et du Nord-Est (NE) en automne et en hiver, et du Sud-Ouest (SO) en été. Leur fréquence et leur violence atteignent leur maximum en hiver.

Ce sont généralement les vents du Nord-Ouest qui apportent les pluies d'hiver. Les vents du Nord-Ouest et du Nord-Est soufflent en hiver et sont souvent froids. Ils entraînent parfois des chutes de neige importantes surtout en altitude. En été, les vents du Sud-ouest sont fréquents.



**Figure 10** : moyenne mensuelle de la vitesse du vent (2003 - 2013).

D'après la figure 10, montre que les vents soufflent durant l'année à différentes vitesses. Ils sont parfois un peu fort avec un maximum au mois d'Avril de 2.74 m/s et un minimum au mois de Novembre avec 1.95 m/s.

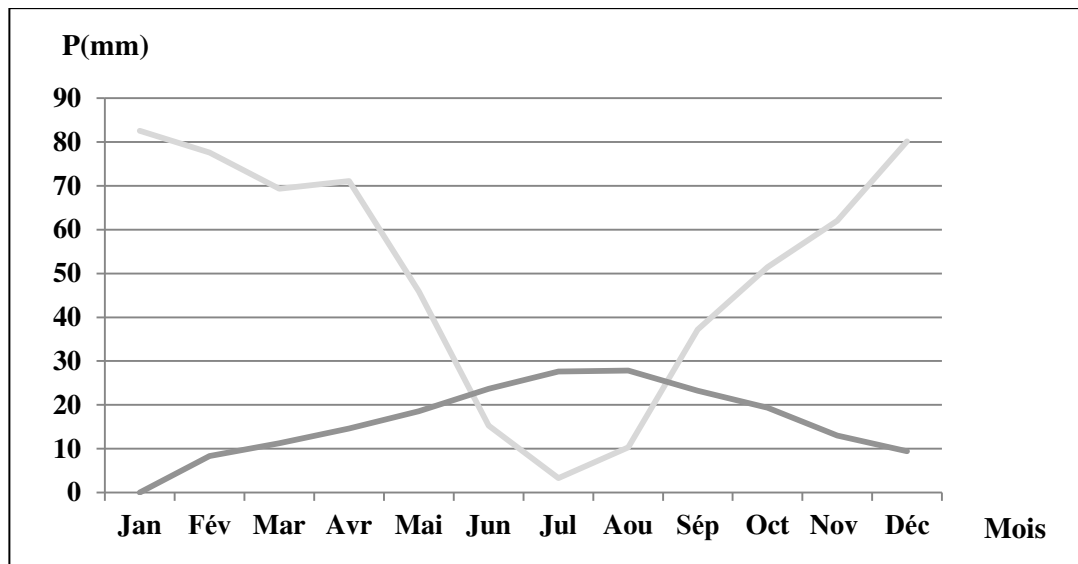
#### I.7. Synthèse climatique

Le rythme climatique est basé sur la recherche des formules qui permettent de ramener à une variable unique, l'action de plusieurs facteurs écologiques. Pour cela, plusieurs indices climatiques ont été formulés pour une expression synthétique du climat régional. Nous retiendrons le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussien qui exprime la durée de la période sèche de l'année, et le quotient pluviométrique d'Emberger, qui demeure l'indice le plus fiable dans la description du climat.

### I.7.1. Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Ces deux auteurs considèrent qu'un mois est sec quant le total de la précipitation (P) en millimètre est égal ou inférieur au double de la température (T) ( $P \leq 2T$ ) exprimé en degré Celsius, ce diagramme permet de signifier et localiser les périodes sèches et humides d'une région donnée.

Lorsque la courbe de température passe au-dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau (période sèche). Lorsque la courbe de température passe au-dessous de la courbe précipitation, la période correspondante est humide. Cette formule ( $P \leq 2T$ ) permet de construire un Diagrammes Ombrothermique traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.



**Figure 11:** Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Bouira (2003-2013).

L'analyse du diagramme Ombrothermique fait ressortir que la période sèche s'étend du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre. Le reste des mois représentent la période humide c'est-à-dire du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai (Fig. 20).

### I.7.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Pour situer le climat auquel se situe la région d'étude, on utilise le Climagramme d'Emberger qui a défini les étages bioclimatiques en se basant sur les deux facteurs:



le quotient pluviométrique « $Q_2$ » et la température du mois le plus froid« m », (Figure 12).

Le quotient a pour formule:

$$Q_2 = 3.43 * P / (M - m)$$

Où:

**P** = exprime les précipitations annuelles exprimé en (mm).

**M**= la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Kelvin.

**m**= la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degrés Kelvin.

Pour la station de Bouira :

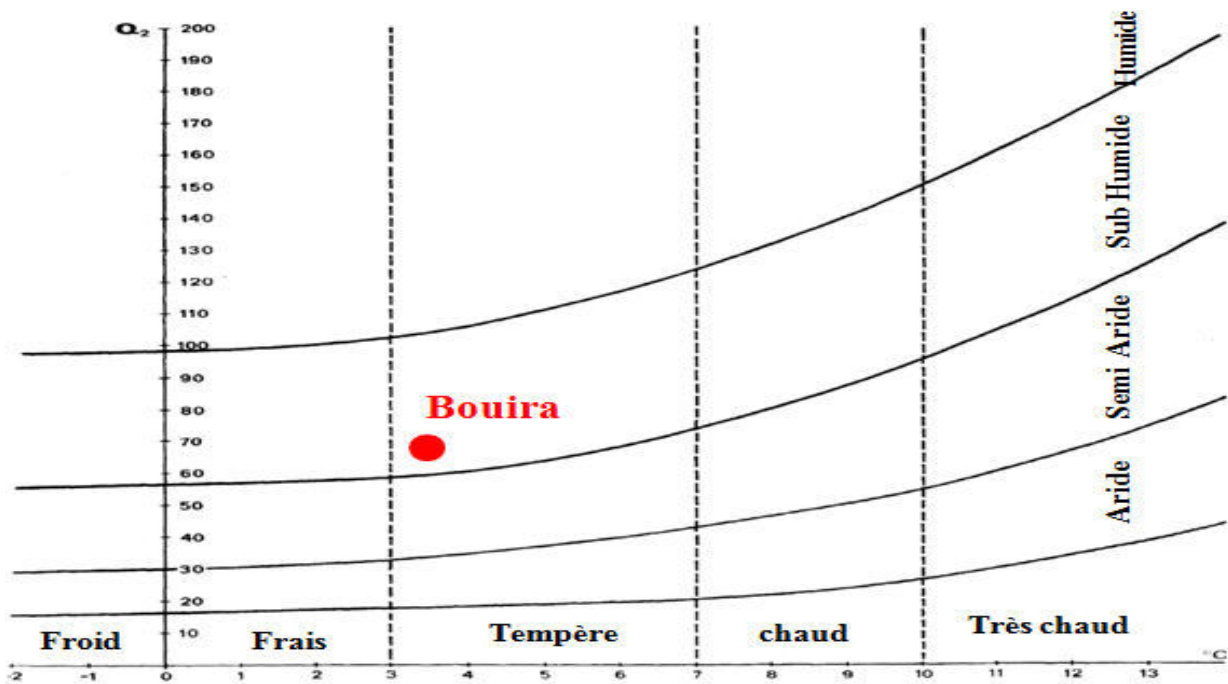


Figure 12 : Climagramme d'Emberger

## Chapitre II

### Etude expérimental

#### II.1. Choix de l'espèce

Pour une surveillance active ou passive, le choix de l'espèce musciolle dépend principalement de son abondance sur les sites de prélèvement.

Pour notre étude, nous avons choisi *Rhynchostegium riparioides* (syn. *Platyhypnidium riparioides*) en raison de leur large répartition sur notre site de prélèvement (Foret Errich). L'identification de l'espèce a été faite par (Yves,2017) et (ADEA-G, 2005).

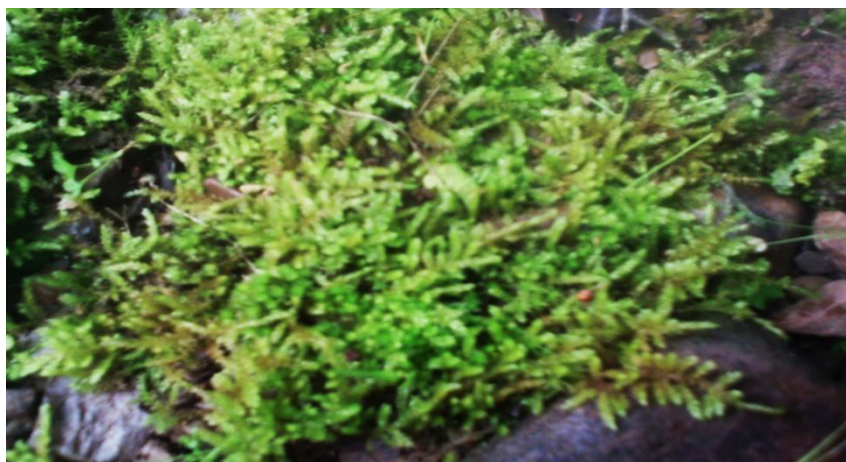
La mousse choisie pour la transplantation *Rhynchostegium riparioides* (Hedw.) Card.(Fig. 13, 14 et 15)Est une *Brachytheciaceae*, de l'ordre des Hypnobryales (Classification de Smith, 1978), très commune en montagne dans les ruisseaux et les rivières ou certains habitats humides (falaises, carrières), pierres et rochers inondés, au bord et dans les ruisseaux et berges (Frahm, 2013), répartie principalement en Europe et plus occasionnellement en Afrique du Nord (Algérie, Maroc), en Amérique du Nord, en Asie (Népal, Chine, Mandchourie, Japon) (Smith, 1978).



**Figure 13 :** Vue microscopique  $\times 100$  Feuille à droite / Touffe à gauche *Rhynchostegium riparioides* (Kermia et Yahiaui, 2017).

**Figure 14 :** Vue macroscopique d'une touffe de *Rhynchostegium riparioides*. (Kermia et Yahiaui, 2017).

C'est une espèce très polymorphe, se distinguant par ses feuilles ovales fortement denticulées, généralement robuste de 4 à 15 cm de long, en grandes touffes vert foncé à clair ou olivâtres, noirâtres à la base, parfois brillantes, tige couchée, irrégulièrement ramifiée par des rameaux parfois ascendants. Feuilles insérées sur plusieurs rangs tout autour de la tige, dressées à étalées, lâchement imbriquées, de taille moyenne (jusqu'à 2 mm de long)(ADEA-G, 2005).



**Figure 15 :** *Rhynchostegium riparioides* (Kermia et Yahiaoui, 2017).

## **II.2. Site de prélèvement**

Les échantillons de mousses destinées à la transplantation, ont été prélevés dans la forêt Errich qui fait partie de la forêt domaniale de Bouira, situé à quelques encablures de la ville du chef-lieu de la wilaya (sur le côté nord-ouest), d'une superficie de 547 Hec y compris la forêt récréative Errich. Ce site de référence est éloigné de toute source de pollution.

## **II.3. Choix des sites de transplantation**

En générale, pour mieux connaître les niveaux de pollution, il est important de mettre en place des réseaux de prélèvement, en essayant de choisir des sites bien exposés à la source de pollution et correctement répartis (à l'intérieure et à l'extérieur).

La transplantation des mousses a été effectuée le 15 décembre au niveau des 4 sites choisis. A la fin de la transplantation certains sites n'ont pas été comptabilisés à cause de la détérioration ou la disparition du transplant (2 stations parmi 4, ont fait l'objet d'échantillonnage).

**Tableau V** : Localisation des sites de transplantation.

	Localisation	Latitude	Longitude
<b>Site 1</b>	à l'intérieur de la cimenterie	36°10'52,19''N	3°44'59,63''E
<b>Site 2</b>	à l'extérieur de la cimenterie	36°10'50,90''N	3°44'55,91''E

**Figure 16** : Localisation des transplants de *Rhynchostegium riparioides* au niveau de la cimenterie de Sour El Ghozlane (Google Earth, 2017).

#### II.4. Techniques de transplantations

La transplantation des mousses consiste à prélever des thalles avec leur substrat notamment (le sol) et les transférer de leur milieu original dans un autre endroit au niveau du sol dans les sites choisis, la transplantation a eu lieu le 15/12/2017 au niveau des 2 sites (Figure 17).

**Figure 17** : Mode de transplantation des mousses au niveau des 2 sites. (Kermia et Yahiaoui, 2017).

### **II.5. Technique de prélèvement des échantillons**

A chaque échantillonnage ou prélèvement, nous avons arraché les thalles du sol à l'aide d'une pince. Les échantillons prélevés sont placés dans des sachets en plastiques, fermés à l'aide d'une scotche afin de limiter les pertes d'eau par l'évapotranspiration jusqu'à l'arrivée au laboratoire.

- Les prélèvements ont eu lieu chaque mois au niveau des deux sites.
- Les thalles transplantés ont toujours été prélevés le même jour pour les deux sites.
- Le traitement des échantillons est effectué le même jour de leur prélèvement afin de limiter au maximum les pertes.

Notre étude a duré 5 mois, et les dates de prélèvement des échantillons, après 2 mois d'adaptation de milieu par l'espèce, étaient comme suit:

- ❖ Le premier prélèvement : 10/02/2017 ;
- ❖ Le deuxième prélèvement : 10/03/2017 ;
- ❖ Le troisième prélèvement : 10/04/2017.

## Chapitre III

### Techniques analytiques

#### III.1. Dosage de la chlorophylle

Dans le but d'évaluer l'effet de la pollution sur la photosynthèse et spécialement sur la chlorophylle des végétaux utilisés, nous avons opté pour le dosage de la chlorophylle a et b tout en utilisant la méthode proposée par (Rao et Le Blanc, 1965).

- **L'extraction de la chlorophylle**

On pèse 1g de matière fraîche qu'on broie dans un mortier avec 25ml d'acétone à 80% ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) et une pincée de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Après broyage total, la solution est conservée à l'obscurité dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Le dosage se fait par le prélèvement de 3ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre et le passage à la lecture.

La lecture se fait à deux longueurs d'ondes 645nm et 663nm et l'étalonnage de l'appareil se fait par la solution témoin d'acétone à 80%. Le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce à la formule de (Arnon, 1949).

$$\left. \begin{aligned} \text{Chl.a} &= 12.7 (\text{D.O}_{663}) - 2.69 (\text{D.O}_{645}) \\ \text{Chl.b} &= 22.9 (\text{D.O}_{645}) - 4.68 (\text{D.O}_{663}) \end{aligned} \right\} \text{ (Hiscox et al, 1978)}$$

$$\text{Chl.a} + \text{Chl.b} = 8.02 (\text{D.O}_{663}) + 20.2 (\text{D.O}_{645}) \text{ (Brown et White Head, 1986)}$$

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

**Chl.a** : Chlorophylle a ; **Chl.b** : Chlorophylle b ; **Chl.ab** : Chlorophylle a et b.

### III.2. Dosage de la proline

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

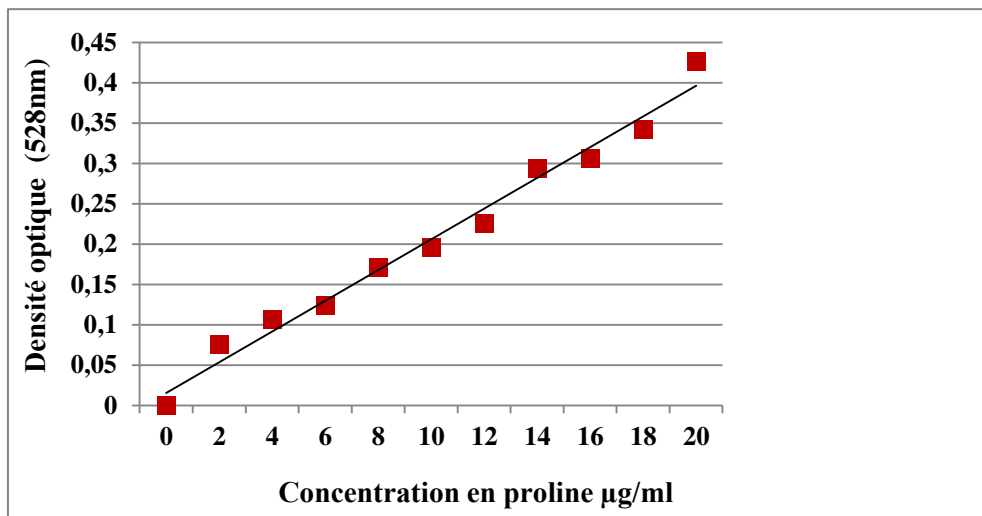
#### III.2.1. Extraction de la proline

On pèse 100 mg de matière végétale fraîche, après les avoir coupés en petits morceaux, on les introduits dans un tube à essai, auquel on ajoute 2ml de méthanol à 40% et on les recouvre de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool, l'ensemble est chauffé au bain-marie à 85°C pendant 60 minutes.

#### III.2.2. Réalisation du courbe étalon

Une solution mère de proline est préparée à une concentration de 20µg/ml de méthanol à 40%. Dans des tubes à essai numérotés de 1 à 10, on prélève respectivement 1 à 10ml de la solution étalon, puis on ajuste à 10ml avec du méthanol à 40%.

Un volume de 1ml ensuite prélevé de chaque tube, puis déposé dans une autre série de tubes numérotés de 1 à 9 et qui correspondent respectivement à des quantités croissantes de proline (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20µg).



**Figure 18:** Courbe d'étalonnage de la proline

Après refroidissement des tubes à essai, on prélève 1ml d'extrait, auquel on ajoute 1ml d'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), 1ml d'un mélange contenant (120ml d'eau distillée, 300ml d'acide acétique, 80ml d'acide orthophosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) et 12.5g de ninhydrine ( $\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_4$ ).

Les solutions sont portées à ébullition pendant 30 minutes, la couleur de cette dernière vire progressivement au rouge.

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

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

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

$Y = 0,019 X + 0,013$	$R^2 = 0,982$
-----------------------	---------------

**X** = Densité optique

**Y** = Concentration en proline ( $\mu\text{g/g}$ ).

### **III.3. Détermination du rapport MF/MS :**

Après avoir prélevé des échantillons frais (mousses), Nous avons pesé 1.5gr de ces échantillons (MF) puis mis à l'étuve à 105°C pendant 72 heures, enfin ces derniers sont repesés pour déterminer la MS, ainsi le rapport MF/MS est établi.

La variation spatio-temporelle de ce rapport nous renseigne sur la pureté de l'air du site en question.



## Résultats et discussion

### I. Changements morphologiques

Après quatre mois de transplantation des mousses, nous avons observé des modifications morphologiques très remarquables (Figure 19):

- Réduction de la croissance ;
- Changement de couleur vers le marron.



**Figure 19** : Aspect de *Rhynchostegium riparioides* après un mois de transplantation.

(Kermia et Yahiaoui, 2017).

Ces changements morphologiques élucident clairement d'une part les effets des retombées atmosphériques de la cimenterie (gaz et poussières) sur les transplants de mousse, se traduisant par des altérations morphologiques (changement de couleur, forme des thalles) et physiologiques (réduction de la croissance de l'espèce) et d'autre part certains paramètres climatiques, topographiques peuvent interférer.

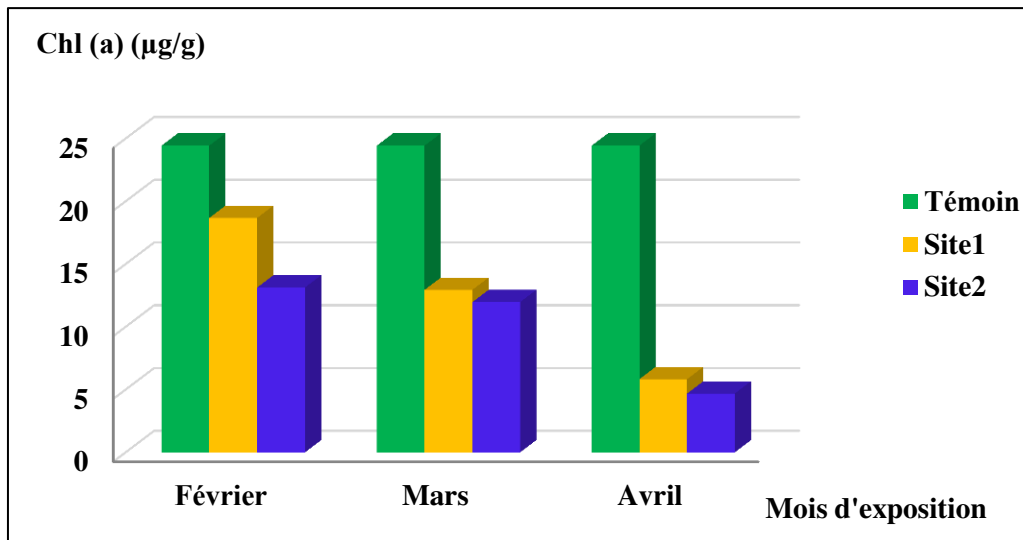
Le changement climatique va profondément affecter les productions agricoles et sylvicoles. (Seguin, 2010).

### II. Détermination des paramètres physiologique et biochimique

#### II.1. Dosage de la Chlorophylle

Les figures (20, 21 et 22) illustrent l'effet des émanations de la cimenterie de Sour El Ghozlane sur la chlorophylle (a, b et ab) des espèces de *Rhynchostegium riparioides* après 05 mois de transplantation.

## II.1.1. Dosage de la Chlorophylle (a)

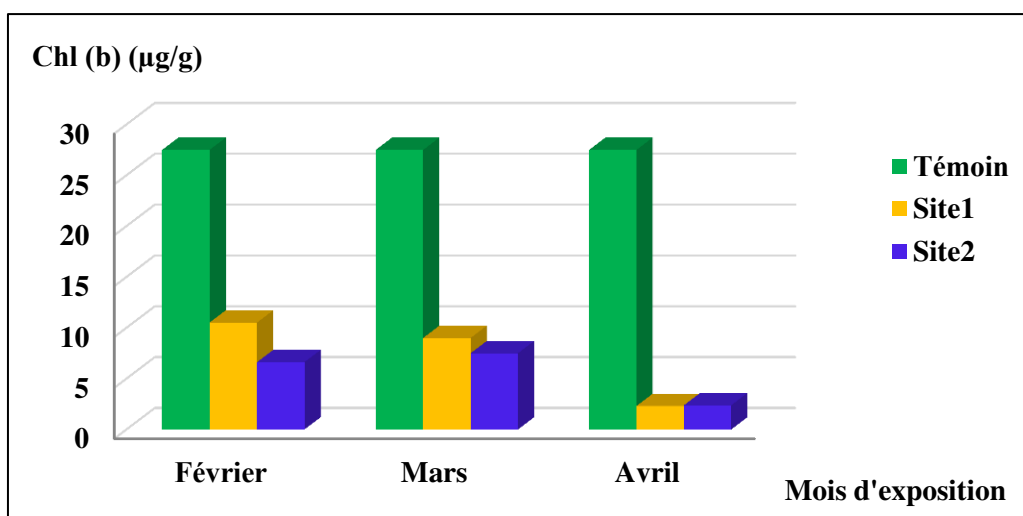


**Figure 20** : Variation spatio-temporelle de la chlorophylle (a) chez *Rhynchostegium riparioides*.

La Figure 18 relative à la variation de la teneur en chlorophylle (a) chez *Rhynchostegium riparioides* présente des fluctuations en fonction du temps d'exposition.

Nous relevons une diminution au niveau des deux sites par rapport au témoin ( $24.436\mu\text{g/g}$ ), pour atteindre une valeur minimale de  $4.68\mu\text{g/g}$  au niveau du site 2 au troisième prélèvement, tandis que la valeur maximale est atteinte au site 1 au premier prélèvement avec  $18.67\mu\text{g/g}$ .

## II.1.2. Dosage de la Chlorophylle (b)



**Figure 21** : Variation spatio-temporelle de la chlorophylle (b) chez *Rhynchostegium riparioides*.

D'après la figure 19, il apparaît clairement que les valeurs de la chlorophylle (b) chez *Rhynchostrigium riparioides* suivent la même tendance que pour la chlorophylle (a).

Nous relevons une diminution au niveau des deux sites par rapport au témoin (27.49µg/g), pour atteindre une valeur minimale de 2.32µg/g au niveau du site 2 au troisième prélèvement, tandis que la valeur maximale est atteinte au site 1 au premier prélèvement avec 10.51µg/g.

### II.1.3. Dosage de la Chlorophylle (ab)

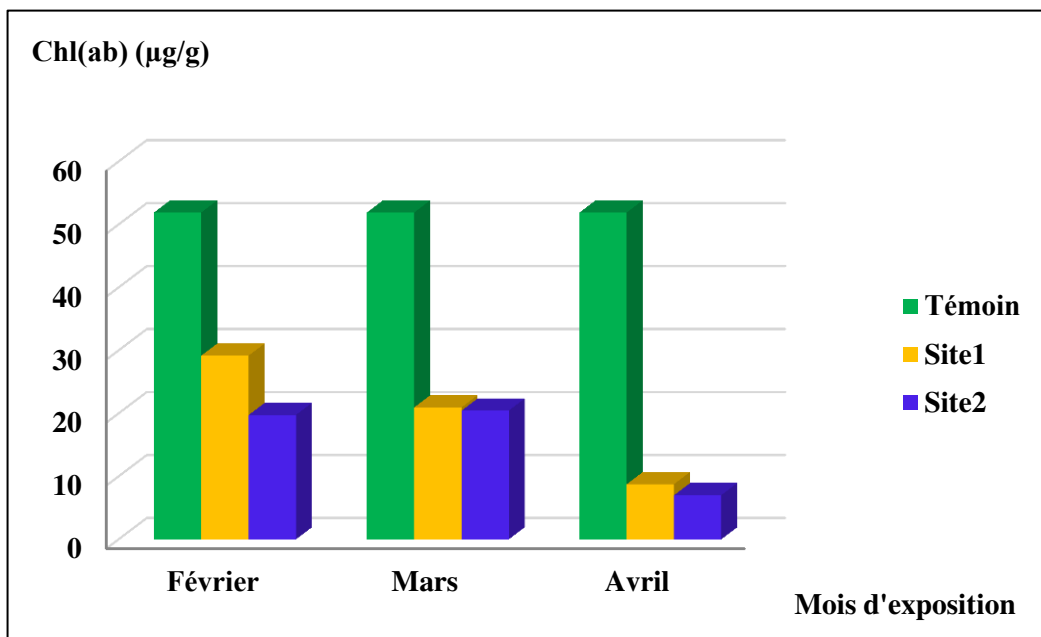


Figure 22 : Variation spatio-temporelle de la chlorophylle (ab) chez *Rhynchostrigium riparioides*.

D'après la figure 20, relative à la variation spatio-temporelle de la chlorophylle (ab) chez *Rhynchostrigium riparioides*, on constate que la chlorophylle (ab) suit la même tendance que la chlorophylle (a) et la chlorophylle (ab).

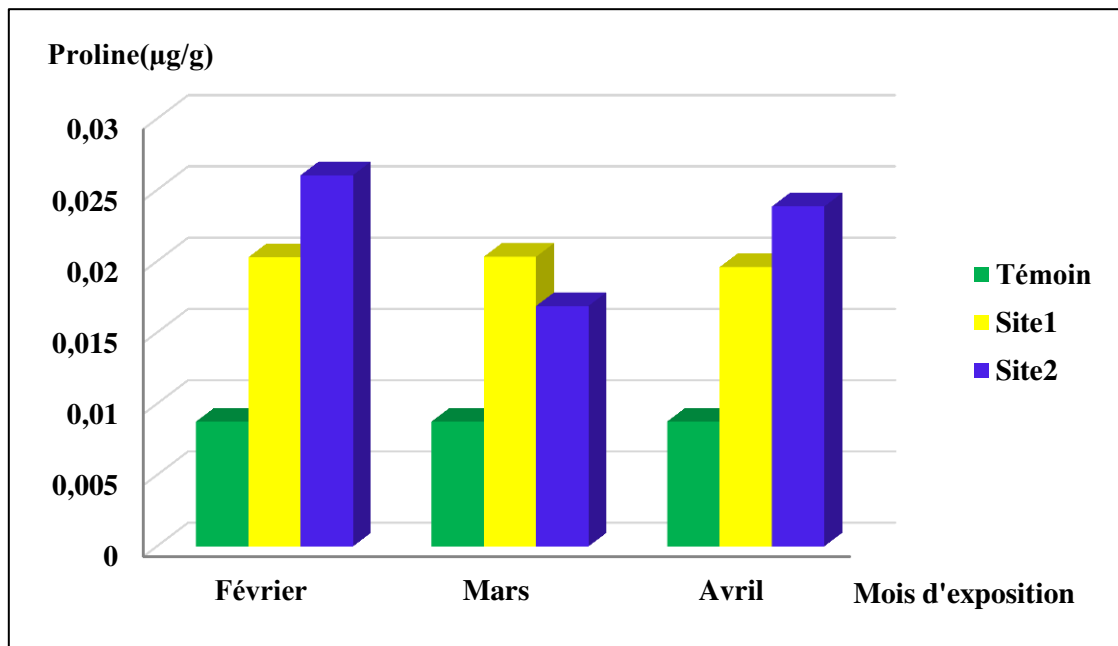
Nous relevons une diminution au niveau des deux sites par rapport au témoin qui indique une teneur de 51.914µg/g. On dénote que la valeur minimale est atteinte au niveau du site 1 au troisième prélèvement avec une teneur en chlorophylle (ab) de 7µg/g, tandis que la valeur maximale est atteinte au site 1 au premier prélèvement avec 29.183µg/g.

Suite aux résultats obtenus concernant la teneur moyenne de la chlorophylle (a), la chlorophylle (b) et la chlorophylle (ab) chez *Rhynchostrigium riparioides* représentés par les

Figures (16, 17 et 18), on remarque une diminution de la chlorophylle en fonction du temps d'exposition au niveau des deux sites avec une prédominance au niveau du site 2.

Nos résultats semblent concorder avec ceux de (Puritch et Barcker, 1967) qui mettent en évidence un effet toxique de l'ammonium sur la synthèse des chlorophylles de même qu'une perturbation de l'aspect morphologique externe et interne des chloroplastes des feuilles de *Lycopersicon esculentum* qui apparaissent suite au traitement à l'ammonium.

### III. Dosage de la proline



**Figure 23** : Variation spatio-temporelle de la proline chez *Rhynchostegium riparioides*.

La proline est un acide aminé soluble dans l'eau et dans l'alcool et facilement oxydable par la ninhydrine, elle s'accumule dans la plante lorsque l'équilibre métabolique de celle-ci est perturbé par les conditions défavorable du milieu.

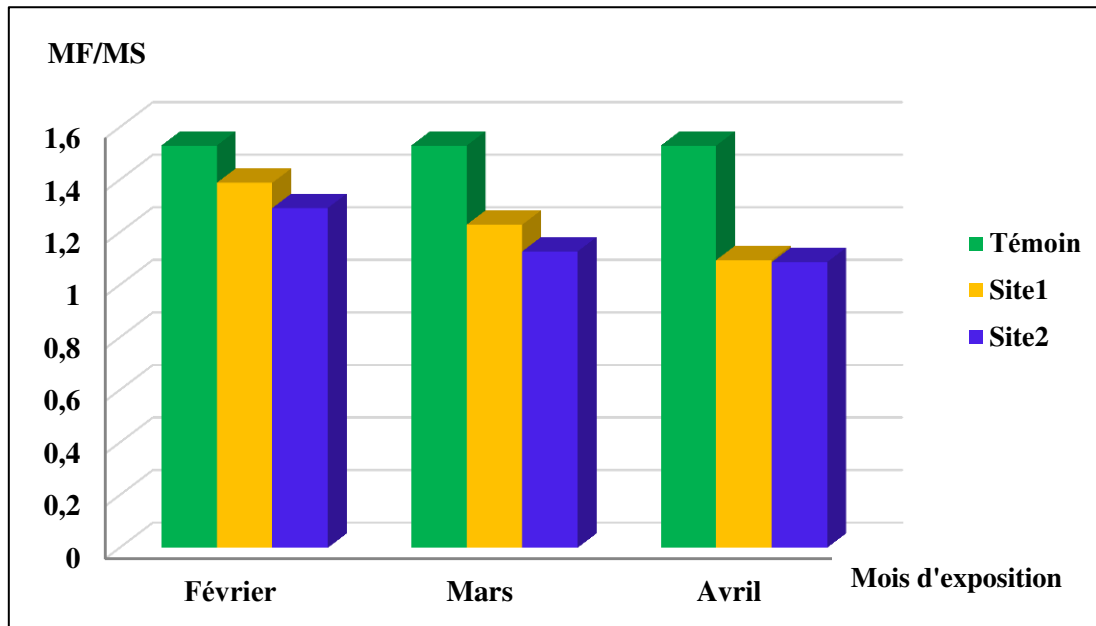
Chez les mousses le taux de proline est proportionnel avec le temps c'est à dire le taux de la sécrétion de la proline augmente comme un système de protection contre la pollution atmosphérique.

On dénote d'après la Figure 19 que la proline augmente dès le premier prélèvement par rapport au témoin, cette augmentation persiste jusqu'au 3<sup>ème</sup> prélèvement, ceci est probablement dû au stress des bioindicateurs provoqué par les émissions de la cimenterie mais aussi par l'interférence de d'autres facteurs telle que les conditions climatiques et la position des sites.

Alors que (Lagadic et al, 1997) affirment qu'une augmentation de la proline peut être observée si les plantes sont soumises aux stress oxydative créée par la pollution atmosphérique.

Selon (Monneveux et Nemmar, 1986), l'accumulation de proline est associée à la résistance de la plante au stress, ce qui pourrait donc être l'un des facteurs qui expliquent le mieux la stratégie d'adaptation des plantes.

#### IV. Détermination du rapport MF/MS



**Figure24** : Variation spatio-temporelle du rapport MF/MS chez *Rhynchostegium riparioides*.

Suit à l'analyse des données propres à la Figure 22, nous constatons qu'au niveau des deux sites le rapport MF/MS a tendance à diminuer par rapport au témoin dans les trois prélèvements avec une valeur maximale au niveau de site 1 au 1<sup>er</sup>prélèvement **1,38** par contre la valeur minimale est atteinte au site 2 au 3<sup>ème</sup>prélèvement avec **1,08**.

On remarque que ce rapport fluctue d'un site à l'autre, et restent fonction de plusieurs paramètres à savoir le degré de pollution de chaque site et des paramètres climatiques.

La réduction de ce rapport s'explique par le fait que la matière sèche augmente au détriment de la matière fraîche, cela par la perte d'une quantité de l'eau de la cellule (Deruelle et Lallement, 1983).

Le rapport MF/MS, (Braun et Fluckiger 1985) affirment que la pollution atmosphérique peut causer aussi des dommages sur les végétaux et implique la diminution du

poids frais et sec. Et constitue une bonne indication de l'état de la qualité de l'air, plus l'air est pur, plus le développement végétal est normal, par contre si l'air est pollué, le développement du végétal va être perturbé au détriment de la matière fraîche (Semadi, 1989).

Ces résultats sont en concordance avec les résultats obtenus par (Khaldi, 2013 ; Maizi, 2006 ; 2013) concernant la pollution par les métaux lourds.

## ***Conclusion générale***

Le ciment est le matériau de base répondant à une utilisation homogène entrant dans les activités de réalisation et de construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil. Un matériau fondamental dans la construction mais dont la fabrication génère des émissions polluantes et nuisibles, si celles-ci se développent à proximité d'agglomérations habitables. De cette manière, elle constitue un risque urbain par la pollution qu'elle engendre aussi bien pour la population que pour l'environnement. La nécessité de disposer de moyens simples pour évaluer la qualité de l'environnement est devenue impérieuse. Dans cette optique, les êtres vivants constituent des indicateurs privilégiés.

En effet, l'ensemble des organismes dépendent du milieu dans lequel ils se développent. Ils fournissent des indications plus ou moins précises sur la qualité des milieux. Lorsqu'ils sont utilisés par l'homme pour appréhender «l'état de santé» d'un milieu, ces indicateurs naturels sont appelés bioindicateurs.

La région de Sour El Ghozlane étant particulièrement touchée par la pollution atmosphérique d'origine industrielle liée aux émissions de la cimenterie (SC-SEG), en l'absence des capteurs physicochimiques il est important d'aborder ce problème par le biais de la bioindication végétale compte tenu des risques permanents qu'ils présentent pour la santé et l'environnement.

Et en ce qui concerne la variation des paramètres physiologique mesurés : la teneur en chlorophylle, en proline et le rapport MF/MS peut témoigner de la qualité de l'air de chaque site.

Après quelque mois de transplantation, nous avons observé au niveau des transplants de mousse des modifications morphologiques très remarquables telles que la perte de la couleur et la réduction de la croissance par rapport au témoin.

Les bryophytes sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques métalliques et organiques. Elles doivent cette efficacité à leurs particularités anatomiques (rapport élevé surface/volume ou surface/masse, absence de cuticule cireuse, de vaisseaux conducteurs et du vrai système racinaire, facilité de repérer les croissances annuelles) et leurs caractéristiques physiologiques (activité photosynthétique

continue tout au long de l'année). Elles seront de ce fait soumises aux retombées des polluants présents à la fois dans les dépôts secs et dans les dépôts humides (Bargagli, 1998).

La teneur en chlorophylle et le rapport MF/MS chez *Rhynchosyrium riparioides* ont tendance à diminuer dans les 2 sites avec une prédominance au niveau du site 1 à cause de la perturbation de processus photosynthétique et la dégradation de la matière fraîche, alors que la teneur en proline a tendance à augmenter avec le temps par rapport au témoin à cause de stress subit. Alors que la teneur en proline a tendance à augmenter avec le temps d'exposition à cause du stress subit.

D'après les résultats obtenus, on déduit que toutes les espèces d'un périmètre, affectées par une pollution ne réagissent pas de la même manière aux polluants. Toutefois il existe des facteurs intrinsèques aux plantes, morphologiques ou physiologiques, qui déterminent la résistance, la tolérance ou la sensibilité des plantes. D'autres facteurs biotiques liés à l'âge, au stade physiologique peuvent intervenir également dans la sensibilité des végétaux à cette pollution (Deletraz et Paul, 1998).

Cependant la variation de l'impact des émissions de la cimenterie sur les espèces restent fonction de la nature des espèces, du temps d'exposition à la pollution, de la distance par rapport à la source de la pollution et aussi la variation de certains facteurs climatiques : comme le vent, la pluviométrie, et humidité relative.

A la lumière de nos résultats, nous pouvons extraire trois conclusions principales :

- 1) L'espèce choisie (*Rhynchosyrium riparioides*) a montré son efficacité bioindicatrice en matière de pollution atmosphérique.
- 2) Les effets des émissions atmosphériques de la cimenterie de Sour El Ghoulane exercent des effets très négatifs sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de l'espèce muscicole.
- 3) Malgré la présence d'un filtre à manche au niveau de la cimenterie de Sour El Ghoulane, il existe toujours une forte pollution atmosphérique dans la région et aux alentours de l'unité industrielle.

Nous avons jugé utile de suggérer quelques mesures pour pallier à ce grave problème de pollution atmosphérique en l'occurrence :

- L'installation des équipements nécessaires à la réduction des émissions tels que les filtres performants afin de pallier à ce problème.



- Il est donc indispensable de compléter ces études par des campagnes de mesures physico-chimiques si l'on veut connaître de façon précise le niveau de pollution atmosphérique.
- Etablir des études d'impact des différentes installations industrielles avant son implantation.

En perspectives, il serait fort intéressant de :

- + Effectuer des dosages des autres enzymes impliquées dans la métabolisation / détoxification : GPX et SOD chez ces modèles biologiques ;
- + Cibler le lieu d'accumulation, et de détoxification de ces polluants au niveau cellulaire ;
- + Elargir l'espace d'étude tout en impliquant d'autres régions;
- + Il est insuffisant de quantifier les poussières qui se déposent sur les végétaux supérieurs ; pour cette raison, on propose de les doser chimiquement (métaux lourds et autres) ;
- + Tester la toxicité des rejets de la cimenterie sur d'autres modèles biologiques.

## Les références bibliographiques

- ADEA-G : Agence De L'eau Adour-Garonne. (2005). *Les bryophytes aquatiques et supra aquatiques Clé d'identification pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière, Adour-Garonne*, 132p.
- ADEME : Agence de l'environnement et de la ministre de l'énergie. (2015). *La pollution de l'air extérieur. Comprendre et améliorer la qualité de l'air*. 28p.
- ANIRF : Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière. (2011). *Rubrique Monographie Wilaya, monographie de la Wilaya de Bouira*.7p.
- AH-PENG C., RAUSCH DE TRAUBENBERG C. (2004). *Equipe Bryophytes bioindicateurs. Bryophytes aquatiques bioaccumulateurs de polluants et indicateurs écophysiologicals de stress : synthèse bibliographique*. Paris, 57p.
- AMIROUCHE N., BOUGUEDOURA N., HADJ-ARAB H. (2009). Les bryophytes (sensu lato) *In : Botanique les Embryophytes*. 3ème édition, Office des publications universitaires, Algérie, p.9 – 27.
- ASPA : Au service de la qualité de l'air. (2005). *Report' air d'alsace la biosurveillance*. N° 8, N°ISSN 1772-337X, 7p.
- ARNON D. I (1949). *Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidases in (beta vulgaris) plants* *physiol.* 1-15.
- AYRAULT S. (2011). *transfert d'élément en trace en l'environnement*. mémoire pour l'obtention à diriger des recherches. Université paris-sud 11, 65p.
- BAAZAOUI H. (2009). *évaluation de la pollution photochimique à la ville de Tunis*, 37p. Disponible sur [www.nsat.com](http://www.nsat.com).
- BARGAGLI R. (1998). *Trace elements in terrestrial plants. An Eco-Physiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*. Springer, Berlin, 324 p.
- BERRAYAH M., MAATOUG M., AZZAOUI M., DIALLO O., SIDIBE A., MANAA K. (2016). Biosurveillance de la qualité de l'air d'un million urbain par des mousses et des lichens. Cas de la ville de Tlemcen (Algérie). *European Scientific Journal February*, Vol.12, (ISSN: 1857 – 7881) p. 151 -163.
- BORIE A. (2006). *La pollution atmosphérique et santé : les sujets a risque en limousin, états des lieux des attentes locales pour une information plus ciblée*. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en phamacie, 197p.

- BOUSSOUARA K. (2010). *Etude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne*. Thèse de doctorat, Université de Constantine, 225p.
- BURGISSER L., Cailliau A. (2012). *les mousses : liste rouge, inventaire et initiation aux bryophytes du canton de Genève*. Hors-série n°14, 172p.
- BRNUN S., FLUCKIGER W. (1985). *Increased populations of the aphid Aphis pomi at a motorway*. Part. 3 - The effects of exhaust gases. Environ. Pollut. Ser. A Ecol.-Biol. 183-192.
- BROWN D.H., BATES J.W. (1986). *The effect of mercury on the physiology of rhytidiadelphus squarrosus (hedw) warnst*. University of bistol j., bryol. 367-374.
- CASALE R. (2006). *Biosurveillance de la qualité de l'air dans la région d'Ajaccio : mise en oeuvre de quelques protocoles et d'opérations de communication*. Mémoire de stage, Corse Pascal Paoli, 39p.
- CUNY D., RZEPKA M., VAN HALUWYN C. (2008). *introduction à la biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air*. concept et intérêt, n°264, 35p.
- DENAYER F.O. (2000). *Ecotoxicité des éléments traces métalliques chez les bryophytes. Mise au point d'un bryocapteur des retombées atmosphérique à l'aide de Ceratdone purpureus (Hidiw.) Brid*. Thèse de doctorat de toxicologie de l'Environnement, Université de Metz, 253p.
- DGAC : Direction générale de la pollution de l'Avion civile (2004). *AIDE MÉMOIRE ; Pollution atmosphérique et aviation*, 56p.
- DGNP : Direction Générale de la Nature et du Paysage (2013). *Les mousses*. Département de l'intérieur, de la mobilité et de l'environnement, Genève, 4p.
- DELETRAZ G., PAUL E. (1998). *Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes*, Rapport intermédiaire, Contrat ADEME, 227 p.
- DENAYER F. (2000). *Ecotoxicité des éléments traces métalliques chez les bryophytes* Thèse de doctorat en toxicologie de l'Environnement, Université de Metz, 237p.
- DREIER W., GÖRING M. (1974). *Dereim slushoher solz kongentrasion en aies verschideu physiologcshe parametr van-mais wrzeln wiss. Z. Drh. Berlin NATH. Natur wiss R. 641-644*.
- DUPANT F., GUIGNARD J. (2012). *Botanique, les familles des plantes*. In : 15ème Edition, el sevier masson. 13-21.

- EMERIC H (2014). *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*. Thèse de Doctorat, Toulouse, 227p.
- FABURE J. (2009). *Étude d’accumulation et les effets des composés organiques volatils (BTEX) chez les bryophytes*. Thèse de doctorat, Lille Nord De France, Lille, 295p.
- FOAN L. (2012). *biosurveillance des retombées atmosphériques à l’aide de bryophyte : suivi d’hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 337p.
- FRAHM J. (2013). *La Bryoflore des Vosges et des zones limitrophes*. 2<sup>ème</sup> édition, France, 138p.
- GARREC J.P., VAN HALUWYN C. (2002). *Biosurveillance végétale de la qualité de l’air*, Editions Tec & Doc, Paris, 117p.
- GOMBERT S. (1999). *Utilisation de la bio indication lichénique dans l’estimation de la qualité de l’air de l’agglomération grenobloise : étude à différents niveaux d’organisation biologique*. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier - Grenoble I, 287p.
- HISCOX J. D., ISRAELSTAM G. F. (1978). *A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration*, *DIV. life science, university Toronto*, 1332-1334.
- HOFMANN H. (2011). *utilisation des mousses* [en ligne]. Disponible sur le site www.Faboda.com. (consulté : 19/02/2017).
- KHALDI F. (2013). *Mécanismes d’action des polluants chimiques industriels (engrais et NOx) sur des bio-indicateurs de pollution (Mousses et Lichens)*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar –Annaba, 241p.
- KOLLER E. (2009). *Technique de prévention de l’air*. In : *Traitement des polluants industriels Eau, Air, Déchets, Sols, Boues*. 2<sup>ème</sup> édition, L’usinenouvelle, France, p. 203- 298.
- LAFFRAY X. (2008). *pollution atmosphérique dans la vallée de l’Arc (Maurienne, Savoie). Nouvelle approche en biosurveillance végétale*. Thèse : biologie végétale et forestière. Université Henri Poincaré, Nancy-I, 316p.
- LAGADIC L., CAQUET T., AMIARD, J-C., RAMADE, F. (1997). *Biomarqueurs en Ecotoxicologie. Aspects fondamentaux*, Paris.
- LEBLOND S. (2004). *Etude pluridisciplinaire du transfert des métaux d’atmosphère vers les mousses*. Thèse de doctorat de, Paris, , 221p.

- LEBLOND S., GOMBERT-COURVOISIER S., LOUIS-ROSE S. (2014). *Air quality biomonitoring using plants and fungi* [enligne]. Disponible sur [www.biosurveillance.com](http://www.biosurveillance.com) (consulté : 03/01/5017).
- MAIZI N. (2006). *jumelage des indicateurs végétaux : (xanthoria parietina) et (funaria hygrometrica) aux réseaux de surveillances et de contrôle de la qualité de l'air SAMA SAFIA dans la région de Annaba, Badji Mokhtar- Annaba, 169p.*
- MAIZI N. (2013). *Caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bioindicateurs végétaux : un lichen (Famalina Farinacea), une mousse (Funaria Hygrométrica) et quelques espèces Phanérogamies Dans La Région de Annaba (Algérie). Thèse de doctorat, Badji Mokhtar –Annaba, 225p.*
- MANNEVILLE O. (2011). *MOUSSES, SPHAIGNES, HEPATIQUES Particularités et cycles biologiques, divers groupes, écologie. 10p.*
- MERLEN R. (2015). *La biosurveillance : outil de surveillance de l'impact sur l'environnement des émissions atmosphériques industrielles et d'évaluation des risques sanitaires. N° 226, ISSN : 2268-3798, 17p.*
- MEDDE : Ministère de l'écologie de développement durable et de l'énergie. (2015). *La pollution de l'air. république française, 19p.*
- MONNEVEUX PH., NEMMAR, M. (1986). *Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre et le blé dur ; étude de l'accumulation de la proline au cours de cycle de développement. Agronomie 6. 583-590.*
- MOUAICI K. (2002). *Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia. Mémoire de fin de cycle, Abderrahmane mira - de Bejaia, 49 p.*
- MULLER N., SCHNYDER N., SCHUBIGER C. (2002). *clé de terrain pour la détermination des bryophytes. Français, n°25, 36p.*
- PAZO W. (2012). *taxonomie et écologie des Bryophytes dans les forêts de montagne de l'Est de la RDC Cas du Parc National de Kahuzi- Biega. Mémoire, Université de Bukavu, 167p.*
- PHILIPPE A. (2011). Climat et pollution. In : *L'air ? L'eau ? L'énergie ? La pollution ? LA VIE !*. 1er édition, Hermann, paris, p. 52- 77.
- PURITCH S., BARKER V. (1967). *Structure and Function of Tomato Leaf Chloroplasts During Ammonium Toxicity, American Society of Plant Biologists. 9-42.*
- REBOUH S. (2012). *Impact de la pollution de l'air provoqué par la cimenterie TAHAR DJOUAD sur la santé publique et le cadre bita cas de HAMMA BOUZIANE. Mémoire de magister, Constantine, 165p.*

- RAO D. N., LE BLANC B. F. (1965). *Effects of sulfur dioxide on the lichen alga*, with special reference to chlorophyll, bryologist, p. 69-75.
- RODA C. (2012). *Exposition domestique à des polluants chimiques de l'air intérieur : modélisation et évaluation de l'impact sur la santé respiratoire chez jeune enfant*. Doctorat, paris Descartes, 342p.
- ROLAND J., BOUTEAU M., BOUTEAU F. (2008). Atlas biologie végétale1. Organisation des plantes sans fleurs algues et champignons. In : *les botaniques*. 7ème édition, DUNOD, France, p. 63 – 84.
- RZEPKA M., CUNY D. (2008). Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. *Biosurveillance*. p. 67-79.
- SEGUIN B. (2010). *Le changement climatique : conséquences pour les végétaux*. p. 27-40.
- SEMADI A. (1989). *Effet de la pollution atmosphérique, pollution globale, fluorée, plombique sur la végétation dans la région de Annaba (Algérie)*. Thèse de Doctorat, P. et M. Curie (Paris 6), 339p.
- SMITH A.J.E (1978). *The moss flora of Britain and Ireland*. Cambridge. University Press, Cambridge, 706 p.
- TROLL W., LINDSLEY G. (1955). *A photometric method for determination of proline* *G. Biol. Chem.* 655- 660.
- YVES GARNIER. (2017). <http://www.tela-botanica.org/>. (consulté : 10/06/2017).

---

## Glossaire

- **Autotrophe** : Organe capable de synthétiser les substances nutritives nécessaires à partir des éléments minéraux de son environnement.
- **Anthéridie** : Organe sexuel male; gamétange male : structure uni- ou pluricellulaire sphérique, ovale oblongue ou cylindrique, obtuse au sommet, stipitée à la base; produisant les anthérozoïdes.
- **Archégone** : Organe sexuel femelle; gamétange femelle : structure pluricellulaire, en forme de bouteille, comportant un pied, une paroi protectrice stérile (ventre), dans laquelle se différencie une seule oosphère.
- **Chlorophylle** : La chlorophylle est un pigment végétal responsable de la coloration verte des plantes. Ce pigment, que l'on retrouve dans les cellules des végétaux, est utilisé avec d'autres pigments par les plantes pour effectuer la photosynthèse. Ce processus permet à la plante d'utiliser l'énergie du soleil pour convertir le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et l'eau en oxygène et en matière organique.
  - Il existe plusieurs pigments photosynthétiques (chlorophylle a, b, c, carotène, phycocyanine, xanthophylle) mais le pigment le plus commun est la chlorophylle a, car on en retrouve dans toutes les plantes, les algues et les cyanobactéries.
- **Diploïde** : Qui possède 2 lots de chromosomes, le nombre chromosomique 2n est caractéristique de la phase saprophytique.
- **Gamétophyte** : Génération haploïde, sexuée, produisant les gamètes; phase dominante chez les bryophytes.
- **Méristème** : Tissu végétal indifférencié, en division mitotique active, perpétuellement jeune, dont proviennent les nouvelles cellules.
- **Oosphère** : Gamète femelle immobile, haploïde, localisé dans le ventre de l'archégone, généralement plus volumineux qu'un gamète mâle de la même espèce.
- **Protonéma** : Premier stade de développement du gamétophyte chez les mousses et chez certaines hépatiques, résultant de la germination de la spore. Les protonémas peuvent être filamenteux ou foliacées.
- **Rhizoïde** : Structure en forme de poils racinaires développée par des gamétophytes indépendants, ayant une fonction d'absorption et d'ancrage.
- **Spore** : Cellule reproductrice, formée à l'intérieur de la capsule, à la suite de la méiose; généralement petit, sphérique; donnant naissance par germination à un protonéma; capable de se développer en organisme

- **Sporophyte** : génération diploïde, issu d'un zygote et ayant pour rôle la production de spores; implante dans le gamétophyte et dépendant de lui partiellement, compose généralement d'une partie renflée (pied) et d'une capsule sessile ou pédicellée.
- **Stomate** : Structure, trouvée chez quelques bryophytes et chez les végétaux supérieurs, constituée de deux cellules stomatiques ménageant une ouverture dans l'épiderme des feuilles et des tiges, permettent des échanges gazeux.
- **Thalle** : Gamétophyte aplati, à symétrie dorsiventrals, non différencié en racine, tige et feuilles.
- **Zygote** : Cellule diploïde, résultant de la fécondation d'une oosphère; à la première division, le zygote devient un embryon.



## Annexes

### Annexes I : Variation de la chlorophylle (a) en $\mu\text{g/g}$ chez *Rhynchostegium riparioides*

	Février	mars	Avril
témoin	24,43636	24,43636	24,43636
Site1	18,67944	12,94812	5,8405
Site2	13,13463	11,9662	4,63922

### Annexes II : Variation de la chlorophylle (b) en $\mu\text{g/g}$ chez *Rhynchostegium riparioides*

	Février	mars	Avril
témoin	27,49504	27,49504	27,49504
Site1	10,51208	8,99784	2,92706
Site2	6,6181	7,49816	2,33068

### Annexes III : Variation de la chlorophylle (ab) en $\mu\text{g/g}$ chez *Rhynchostegium riparioides*

	Février	mars	Avril
témoin	51,91474	51,91474	51,91474
Site1	29,18358	20,95984	8.70916
Site2	19,7475	20,43876	7.06858

### Annexes IV : Variation de la proline en $\mu\text{g/g}$ chez *Rhynchostegium riparioides*

	Février	mars	Avril
témoin	0.016876	0.016876	0.016876
Site1	0.026053	0.016876	0.023849
Site2	0.02029	0.02033	0.019593

**Annexes V** : Variation du rapport MF/MS chez *Rhynchostegium riparioides*

	Février	mars	Avril
témoin	1.530612	1.530612	1.530612
Site1	1.388888	1.229508	1.09363
Site2	1.290476	1.1289	1.08695

**Annexes VI** : Pluviométrie moyenne mensuelle (2003 – 2013).

mois	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	Déc
Précipitation	82.5	77.56	69.33	71.06	45.9	15.27	3.32	10.3 1	37.21	51.4	62.0	80.1

**Annexes VII** : Moyenne mensuelles des températures dans la station de Bouira (2003-2013).

mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	sept	octobre	nov	Déc
T(C°)	8,2	8,35	11,26	14,63	18,6	23,66	27,65	27,85	23,25	19,39	13,05	9,43
Tmin (C°)	2,3	2,5	5,5	8,7	11,-	15,8	19,4	20	14,7	9,8	7,5	3,9
Tmax (C°)	13,9	14,2	14,2	20,4	25,6	31,4	35,8	36	31,8	24,2	18,6	14,9

**Annexes VIII** : d'humidité moyenne mensuelle (2003 - 2013).

mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	sept	octo	nov	Déc
humidité	83.5	79.9	79.3	65.1	66.6	55.5	47.9	52.2	62.8	69.7	77.8	82.9

**Annexes IX:** moyenne mensuelle de la vitesse du vent (2003 - 2013).

mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	sept	octobre	nov	Déc
vent	2.23	2.4	2.57	2.74	2.44	2.38	2.26	2.28	02.9	02.02	1.95	2.2

**Annexes X :** principaux groupes de bryophytes

Groupes	Sous-groupes	Caractères principaux	Exemples de genres
<b>Marchantiophytes ou Hépatiques</b> sporophyte simplifié, à soie fugace	Hépatiques à feuilles	Tiges feuillées à symétrie bilatérale, souvent petites et ramifiées ; structure foliaire très variée, sans nervure ; capsule sommitale s'ouvrant par 4 dents	<i>Anastrophyllum, Anthelia, Barbilophozia, Bazzania, Blepharostoma, Calypogeia, Cephalozia, Chiloscypus, Diplophyllum, Frullania, Jungermannia, Lejeunea, Lepidozia, Lophocola, Lophozia, Marsupella, Nardia, Nowellia, Odontoschima, Plagiochila, Porella, Ptilidium, Radula, Scapania, Trichocola, Tritomaria</i>
	Hépatiques à thalle	Groupe hétérogène ; thalle aplati souvent dichotomique	<i>Conocephalum, Cryptothallus, Lunularia, Marchantia, Metzgeria, Peltia, Preissia, Riccardia, Riccia</i>
<b>Anthocérotophytes</b>	Anthocérotes	Présence d'un thalle en rosette	<i>Anthoceros</i> pas de capsule, mais axes fertiles allongés
<b>Bryophytes ou Mousses</b> tige feuillée à	Andréaeales	Capsule s'ouvrant par 4 fentes	<i>Andreaea</i>
	Sphaignes	Capsule sans soie ; 2 types de cellules foliaires très distincts	<i>Sphagnum</i> , nombreuses espèces pas faciles à distinguer

symétrie axiale ; feuille souvent à nervure ; sporophyte complexe avec une capsule et une coiffe et souvent une soie	Mousses acrocarpes (et cladocarpes, intermédiaire s)	Groupe très hétérogène ; espèces petites à grandes ; sporophytes en position terminale sur les tiges dressées, non ramifiées ou à rameaux parallèles entre eux, formant des tapis serrés ou des coussins arrondis	<i>Aulacomnium, Atrichum, Barbula,</i> <i>Bartramia, Bryum, Buxbaumia,</i> <i>Campylopus, Ceratodon,</i> <i>Cinclidotus, Dicranella, Dicranum,</i> <i>Fissidens, Funaria, Grimmia,</i> <i>Leucobryum, Mnium, Orthotrichum,</i> <i>Philonotis, Plagiomnium,</i> <i>Pleurochaete, Pogonatum, Pohlia,</i> <i>Polytrichum, Racomitrium,</i> <i>Rhizomnium, Rhodobryum,</i> <i>Schistidium, Schistostega,</i> <i>Splachnum, Syntrichia, Tetraxis,</i> <i>Tortella, Tortula, Trichostomum,</i> <i>Ulota</i>
	Mousses pleurocarpes	Groupe plus homogène ; espèces moyennes à très grandes ; sporophytes en position latérale sur les tiges souvent couchées ou obliques, à nombreux rameaux écartés des tiges, formant des tapis lâches et parfois épais	<i>Abietinella, Amblystegium,</i> <i>Anomodon, Brachythecium,</i> <i>Campylium, Calliergonella,</i> <i>Cirriphyllum, Climacium,</i> <i>Cratoneuron, Ctenidium,</i> <i>Drepanocladus,</i> <i>Eurhynchium, Fontinalis, Hedwigia,</i> <i>Homalothecium, Hookeria,</i> <i>Hylocomium, Hypnum, Isothecium,</i> <i>Kindbergia, Leptodon, Leskea,</i> <i>Leucodon, Neckera, Orthothecium,</i> <i>Plagiothecium, Pleurozium, Ptilium,</i> <i>Rhynchostegium,</i> <i>Rhytidiadelphus, Rhytidium,</i> <i>Sanonia,</i>

# *Introduction générale*

*1<sup>ère</sup> partie*

*La pollution  
atmosphérique et les  
méthodes de surveillance de la  
qualité de l'air*

# *2<sup>ème</sup> partie*

## *Matériel et méthodes*

*3<sup>ème</sup> partie*

*Résultat et discussion*



# *Conclusion générale*

# *Annexes*

*Référence bibliographique*

## ***Résumés***

Les conséquences sanitaires et environnementales de la pollution atmosphérique sont devenues au cours des dernières décennies un des problèmes majeurs de notre société.

Notre travail de recherche est basé essentiellement sur l'utilisation d'une espèce végétale (*Rhynchostegium riparioides*) comme bioindicateur de la pollution dans la région de Sour El Ghozlane.

L'étude de l'impact des émissions de la cimenterie de Sour El Ghozlane sur *Rhynchostegium riparioides* a été effectuée en mettant en place un réseau de prélèvement important et en choisissant des sites correctement répartis.

Une stratégie d'échantillonnage pertinente, un suivi spatio-temporel et la mesure de certains paramètres physiologiques et biochimiques (le rapport MF/MS, teneur en chlorophylle et en proline), ont permis d'évaluer non seulement l'état de la qualité de l'air mais également l'impact de cette pollution engendrée par la cimenterie de Sour El Ghozlane sur l'environnement.

Les résultats obtenus nous ont permis de confirmer l'existence d'une pollution atmosphérique dû aux émanations de la cimenterie de Sour El Ghozlane et l'impact de cette dernière sur nos bioindicateurs utilisés. (*Rhynchostegium riparioides*).

Mot clés : Pollution atmosphérique, bioindicateur, biosurveillance, mousse, cimenterie, *Rhynchostegium riparioides*.

## الملخص

لقد أصبحت العواقب الصحية والبيئية لتلوث الهواء من المشاكل الرئيسية التي واجهها مجتمعنا في العقود الأخيرة. ويستند بحثنا إلى استخدام أنواع النباتات كمؤشرات بيولوجية لهذا التلوث في منطقة سور الغزلان. وقد تم تنفيذ المتابعة المكانية والزمنية لتأثير المصادر المعروفة للانبعثات (أعمال الإسمنت) من خلال إنشاء شبكة أخذ العينات الهامة، واختيار المواقع بشكل صحيح وتخصيصها. الأنواع المستخدمة هي من فصيلة الحزازيات (*Rhynchostegium riparioides*).

واستراتيجية أخذ العينات ذات الصلة، والرصد المكاني والزمني وقياس بعض المعلمات الفسيولوجية و البيوكيميائية (نسبة المادك الطازجة/ المادة الجافة، والكلوروفيل ومحتوى البرولين) لم تستخدم فقط لدراسة نوعية الهواء و لكن أيضا تأثير هذا التلوث على البيئة من قبل مصنع الأسمنت سور الغزلان.

النتائج اللتي تحصلنا عليها توضح لنا وجود تلوث هوائي ناجم عن إنبعاثات مصنع الإسمنت بسور الغزلان.

كما أوضحت لنا تأثير هذا الأخير على المؤشرات الحيوية التي إختارناها, (*Rhynchostegium riparioides*).

**الكلمات المفتاحية:** تلوث الهواء، مؤشرات بيولوجية، الرصد البيولوجي، حزازيات، الاسمنت.

## ***Abstract***

Consequences of air pollution on health and environment have become major problems of our society in recent decades. Our research is based mainly on the use of plant species as biological indicators of this pollution in the area of Sour El Ghozlane. The implementation of spatial and temporal monitoring of the impact of cement works was carried out in our study by setting up an important sampling network and selecting the sites precisely and allocating them correctly. Herein, the species used is *Rhynchostegium riparioides*.

A relevant sampling strategy, spatio-temporal monitoring and measurements of certain physiological and biochemical parameters such as the ratio of MF / MS, chlorophyll and proline content made it possible to evaluate not only the state of the quality of the organism, but also the impact of this pollution on the environment generated by the Sour El Ghozlane Cement factory.

The obtained results confirmed the existence of atmospheric pollution due to the emanations of the Sour El Ghozlane cement factory and their impact upon the used bioindicators.

Keywords: Atmospheric pollution, bioindicators, biomonitoring, foam, cement factory, *Rhynchostegium riparioides*.