



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences biologiques



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : toxicologie

Intitulé

Réponses d'une plante épuratrice des eaux douces « *Phragmites australis* » vis-à-vis du stress environnemental

Présenté par : SIDALI Hadjer

YAICHE Saoussan

Soutenu le : .. juillet 2022

Devant le jury :

Président :	M ^{lle} SLIMANI Ourdia	MAA (Univ. Bordj Bou Arreridj)
Encadrant :	M ^{lle} MOUMENI Ouissem	MCB (Univ. Bordj Bou Arreridj)
Examineur :	M ^r MEZDOUR Hichem	MCB (Univ. Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Remerciements et Louange au Seigneur des Mondes الله le tout puissant, le très miséricordieux qui nous a donné la santé, la force, le courage et l'opportunité de mener ce travail à terme

Les plus vifs remerciements et la profonde gratitude vont bien évidemment à **M^{lle} MOUMENI Ouissem** pour avoir accepté de nous encadrer. Son dynamisme, sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils, nous ont permis d'avancer, elle a suivi sans relâche et avec beaucoup d'intérêts le déroulement de ce travail.

Nous tenons à remercier **M^{lle} SLIMANI OURDIA** pour avoir accepté de présider ce jury et d'évaluer ce modeste travail.

Nous remercions vivement **M^R MEZDOUR Hichem** pour avoir accepté d'examiner notre travail

Nous ne pouvons oublier de remercier l'ensemble des enseignants, et des dirigeants du département de biologie et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Un grand merci à tous...

Dédicaces

Je remercie ALLAH de m'avoir donné la force et le courage pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail à mes parents pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon parcours scolaire et personnel. Aucun mot ne serait exprimer tout mon amour et ma gratitude. Merci pour vos sacrifices pendant ces années.

*A l'homme, à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect, mon exemple éternel, mon soutien moral : mon cher père **NOUR ELDDIN***

*A ma source de bonheur, mon adorable mère **BAYA***

*A la mémoire de mon deuxième père : mon cher oncle : Baba **ABDELLAH***

*A ma chère sœur **MERYEM***

*A mes frères que j'adore : **ISMAIL; IBRAHIM ; ABDERRAHMAN et AHMED***

*A mes précieuses amies qui sont toujours avec moi : **SAOUSSAN, KHALISSA, CHAIMA***

A celui qui m'a donné le soutien et le courage tout au long de l'année.

*A ma meilleur amie : **Dr HANNICHE SARA** merci pour votre soutien et votre encouragement.*

A toute ma famille, oncles, tantes, cousins et cousines sans exception.

*A mon cher encadreur **Dr MOUMENI OUISSEM** merci pour votre patience, vos efforts intenses et votre disponibilité permanente.*

HADJER

Dédicaces

Je dédie ce travail

*À mes chers **parents**, ma mère et mon père, pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements.*

*À mes chères sœurs **HANAN** et **SARAH***

*À mes beaux-frères, **ABED ALI**, **ABEDELMOUMEN**, **ABDEL BAKI***

*A mon fiancé **ABDEL SALAM***

*A mes amours **RADIA**, **CHAIMA**, **RADIA**, **IKRAM**, **ROFAIDA***

A tous les membres de ma famille

Je vous aime...

SAOUSSAN

Résumé

Le but de notre recherche est d'étudier l'impact de la pollution environnementale sur « *Phragmites australis* » prélevée de deux sites différents : le premier site « Maali » (forêt d'El Hammadia) est moins pollué (considéré comme témoin), et le deuxième site (l'Oued « Dalette ») est soumis à une pollution sévère suite aux rejets d'eaux usées industrielles.

L'étude menée, vise à évaluer les différentes réponses de *P. australis* face au stress. Nos résultats mettent en évidence des changements biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques chez la plante prélevée du site pollué comparativement à celle du site témoin. Ces changements se traduisent par la présence d'un système racinaire très développé, une réduction de la synthèse des pigments photosynthétiques, une augmentation de la synthèse protéique et une intensification de l'activité catalase suite à l'activation du système de détoxification.

Mots clés : *Phragmites australis*, pollution, macrophyte, eau usée, activité catalase.

Abstract

The aim of our research is to study the impact of environmental pollution on "*Phragmites australis*" taken from two different sites: the first site "Maali" (El Hammadia forest) is less polluted (considered as a control), and the second site (the "Dalette" Oued) is subject to severe pollution following discharges of industrial wastewater.

The study conducted aims to evaluate the different responses of *P. australis* to stress. Our results highlight biometric, physiological, biochemical and enzymatic changes in the plant taken from the polluted site compared to that of the control site. These changes result in the presence of a highly developed root system, a reduction in the synthesis of photosynthetic pigments, an increase in protein synthesis and an intensification of Catalase activity following the activation of the detoxification system.

Keywords: *Phragmites australis*, pollution, macrophyte, wastewater, catalase activity.

المخلص

الهدف من بحثنا هو دراسة تأثير التلوث البيئي على " القصب " المأخوذ من موقعين مختلفين: الموقع الأول "ماعلي " (غابة الحمادية) أقل تلوثاً (يعتبر عنصر تحكم) ، والموقع الثاني (واد "داليت") معرض لتلوث شديد بعد تصريف مياه الصرف الصناعي.

تهدف الدراسة التي أجريت إلى تقييم ردود الفعل المختلفة لـ"القصب" نتيجة الإجهاد. تسلط نتائجنا الضوء على التغيرات البيومترية والفسبولوجية والكيميوية والإنزيمية في النبات المأخوذ من الموقع الملوث مقارنةً بالموقع الشاهد. تؤدي هذه التغييرات إلى وجود نظام جذري عالي التطور ، وانخفاض في تخليق أصباغ التركيب الضوئي ، وزيادة في تخليق البروتين وتكثيف نشاط الكاتلاز نتيجة لتنشيط نظام إزالة السموم.

الكلمات المفتاحية : القصب ، التلوث ، مياه الصرف الصناعي، نشاط الكاتلاز.

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction..... 01

Etude expérimentale

Chapitre 1: Matériel et méthodes

1. Matériel végétal	04
1.1. Description de l'espèce	04
1.2. Classification de l'espèce	05
2. Présentation des sites de prélèvement	06
2.1. Localisation géographique du premier site Forêt d'El-Hammadia « Maali »	06
2.2. Localisation géographique du deuxième site barrage Ain Zada « l'oued Dalette ».....	07
3. Paramètres étudiés	08
3.1. Mesure des paramètres biométriques	08
3.2. Dosage des paramètres physiologiques	08
3.2.1. Dosage des chlorophylles et des pigments caroténoïdes	08
3.3. Dosage des paramètres biochimiques	09
3.3.1. Dosage des protéines totales	09
3.4. Dosage des paramètres enzymatiques	09
3.4.1. Préparation de l'extrait enzymatique	09
3.4.2. Dosage de l'activité Catalase (CAT)	09
5. Etude statistique	10

Chapitre 2 : Résultats

1. Effet de la pollution environnementale sur les paramètres biométriques chez *Phragmites*

Table des matières

<i>australis</i>	11
1.1. Effet sur le nombre moyen des racines	11
1.2. Effet sur la longueur moyenne des racines	12
2. Effet de la pollution environnementale sur la synthèse des pigments photosynthétiques chez <i>Phragmites australis</i>	13
3. Effet de la pollution environnementale sur le taux de protéines totale chez <i>Phragmites australis</i>	14
4. Effet de la pollution environnementale sur l'activité catalase chez <i>Phragmites australis</i>	15

Chapitre 3 : Discussion

Discussion	16
Conclusion et perspectives.....	20
Références bibliographiques.....	21

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Effet de la pollution environnementale sur la teneur en chlorophylle a, b, a+b et en caroténoïdes chez <i>P. australis</i> (m \pm SD ; n = 3).	13

Liste des figures

N°	Titres	Pages
1	Plantes de <i>Phragmites australis</i> présentes dans les deux sites d'étude : témoin (A) et pollué (B) (Photo personnelle)	04
2	Développement racinaire et du rhizome de <i>Phragmites australis</i>	05
3	Localisation de la forêt d'El Hammadia « Maali » (Google Earth, 2022)	06
4	Localisation de l'Oued « Dalette » du barrage d'« Ain Zada » (Google Earth, 2022)	07
5	Le nombre moyen des racines chez <i>P. australis</i> prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$)	11
6	Longueur moyenne des racines chez <i>P. australis</i> prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$)	12
7	Teneurs en protéines totales foliaires et racinaires chez <i>P. australis</i> prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$)	14
8	Variation de l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines de <i>P. australis</i> prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$)	15

Liste des abréviations

ACT : Activité enzymatique

BSA : l'albumine de sérum de bœuf

CaCO₃ : bicarbonate de calcium

CAT : Catalase

Chl : chlorophylle

Fe : fer

H₂O₂ : Peroxyde d'Hydrogène

KM : kilomètre

LMR : longueur moyenne des racines.

MF : Matière Fraiche

Mm³ : Mégamètre cube

NAK : Tampon Phosphate

NMR : nombre moyen des racines.

P. australis : *Phragmites australis*

PSI : Photosystème I

PSII : Photosystème II

ROS : Reactive Oxygen Species

SP : Site pollué

ST : Site témoin

Zn : zinc



Introduction

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'environnement compte parmi les problèmes les plus alarmants qui préoccupent tous les pays du monde où l'industrie connaît un développement considérable. Les pays en voie de développement, tel que l'Algérie, sont actuellement confrontés à de sérieux problèmes de pollution liés non seulement à une augmentation rapide et surtout anarchique des activités industrielles et agricoles, mais également à une forte croissance démographique. Ces différentes activités ont introduit dans les hydro systèmes (cours d'eau, nappes souterraines, lacs et oueds) une multitude de substances toxiques ayant des répercussions néfastes sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine (**Bahroun et Kherici, 2011**).

Le déversement des effluents industriels, agricoles et urbains directement dans l'environnement a pour conséquence la présence de quantités excessives d'azote et de phosphore dans le milieu aquatique engendrant ainsi l'apparition du phénomène d'eutrophisation, qui favorise la prolifération de végétaux et diminue la quantité d'oxygène dissous, ce qui provoque à long terme la mort de nombreux organismes vivants au sein du milieu aquatique (poissons, crustacés, etc...), entraînant, par conséquent, un dysfonctionnement de la chaîne trophique. De plus, la présence des éléments traces métalliques comme le mercure et l'arsenic peut avoir un impact négatif sur les organismes vivants les plus sensibles, provoquant alors des dysfonctionnements et des troubles dans leurs fonctions physiologiques (nutrition, respiration et reproduction) (**Ivanowsky, 2016**). La qualité de l'eau des nappes phréatiques peut être également dégradée par l'infiltration des eaux usées à travers le sol, qui permet la migration des polluants présents dans ces eaux usées vers les eaux souterraines (**Metahri, 2012**).

La région de Bordj Bou Arreridj est l'une des régions algériennes les plus exposées à une pollution industrielle dont l'origine des rejets d'eaux usées fortement chargées en contaminants, de nature et de toxicité très variées. Le problème de cette région n'a vraiment commencé à devenir inquiétant que lorsque cette dernière a vu un essor de développement dans le domaine industriel, et plus précisément dans l'électronique, l'électroménager et le textile (**Sellal, 2018**). Les substances toxiques peuvent exercer leurs effets négatifs même à de très faibles concentrations et présenter souvent une grande variabilité à se concentrer, ce qui rend très compliqué l'évaluation des quantités rejetées et leurs impacts réels sur les écosystèmes. Il est donc aujourd'hui indispensable de mettre en œuvre des solutions durables permettant de mesurer les effets des différentes pollutions sur les écosystèmes afin de limiter leurs risques (**Burger, 2006 ; Chafaa, 2015**).

Malgré leur fort potentiel toxique, la plupart des sites contaminés, présentent souvent une flore diversifiée tolérant apparemment bien de fortes teneurs en substances chimiques. L'étude des capacités de détoxification, d'immobilisation ou d'absorption de ces différents contaminants par ces plantes résistantes dites bio-indicatrices, pourrait donc constituer un outil pertinent, non seulement pour estimer les risques de transfert de ces contaminants au sein de l'écosystème, mais également comme outil de réhabilitation des sites pollués. Par ailleurs, les analyses des polluants effectuées directement sur l'eau ont un coût élevé pour une efficacité parfois moindre. Cependant, l'évaluation de l'impact du stress environnemental par l'intermédiaire des végétaux bio-indicateurs, pourrait à la fois fournir une information plus pertinente avec un coût avantageux (**Chafaa, 2015**).

A l'échelle mondiale, un grand nombre de plantes possèdent des propriétés biologiques très intéressantes qui trouvent leur application dans divers domaines en particulier dans les domaines de la bio-indication et la phyto-remédiation telle que *Phragmites australis*, qui est une plante macrophyte d'intérêt économique qui se trouve très fréquemment dans les zones humides et dans les régions tempérées et tropicales. Cette plante a une forte capacité de tolérance au stress et d'accumulation des polluants au sein de ses tissus (racines, rhizomes, tiges, feuilles), ce qui en fait un modèle idéal pour l'évaluation des perturbations environnementales (**Jiang et Wang, 2007 ; Rocha et al., 2014**).

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'étudier l'impact de la pollution environnementale sur « *Phragmites australis* ». Pour ce faire, nous nous sommes intéressés aux réponses physiologiques, biochimiques et enzymatiques de cette plante prélevée de deux sites différents : le premier site « Maali » (forêt d'El Hammadia) est moins pollué (considéré comme témoin), et le deuxième site est le Barrage « Ain Zada », à proximité de l'Oued « Dalette », qui est soumis à une pollution sévère suite aux rejets d'eaux usées industrielles.

Ce manuscrit est structuré comme suit :

- D'abord, une introduction générale, présentant un aperçu sur la pollution des eaux et ses conséquences sur les organismes les plus sensibles, qui sont utilisées en tant que bio-indicateurs pour évaluer la qualité de l'environnement.
- Ensuite, une partie expérimentale, subdivisée en trois principaux chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une description détaillée des sites d'échantillonnage, du matériel végétal et des méthodes utilisées dans notre expérimentation.
 - Le deuxième chapitre, quant à lui, est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.
 - Dans le troisième chapitre, nous procédons à une analyse et une discussion des différents résultats obtenus.
- Enfin, nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats de l'étude et nous proposerons quelques perspectives pour les recherches à venir.



Etude expérimentale



Chapitre 1 :
Matériel et méthodes

Notre travail s'est déroulé au niveau du laboratoire de biochimie, Département de Sciences et Techniques, Université de Bordj Bou Arreridj.

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre travail, correspond à une plante macrophyte « *Phragmites australis* », prélevée durant la saison du printemps (Le 17/04/2022) sur deux sites différents (un site moins pollué considéré comme témoin et un autre pollué) (**Figure 1**) :

- **Le site témoin (T)** : situé dans la forêt d'El Hammadia « Maali », Bordj Bou Arreridj.
- **Le site pollué (P)** : situé à proximité de « l'Oued Dalette », barrage d'« Ain Zada », Bordj Bou Arreridj. Cet oued reçoit des eaux usées d'origine industrielle.

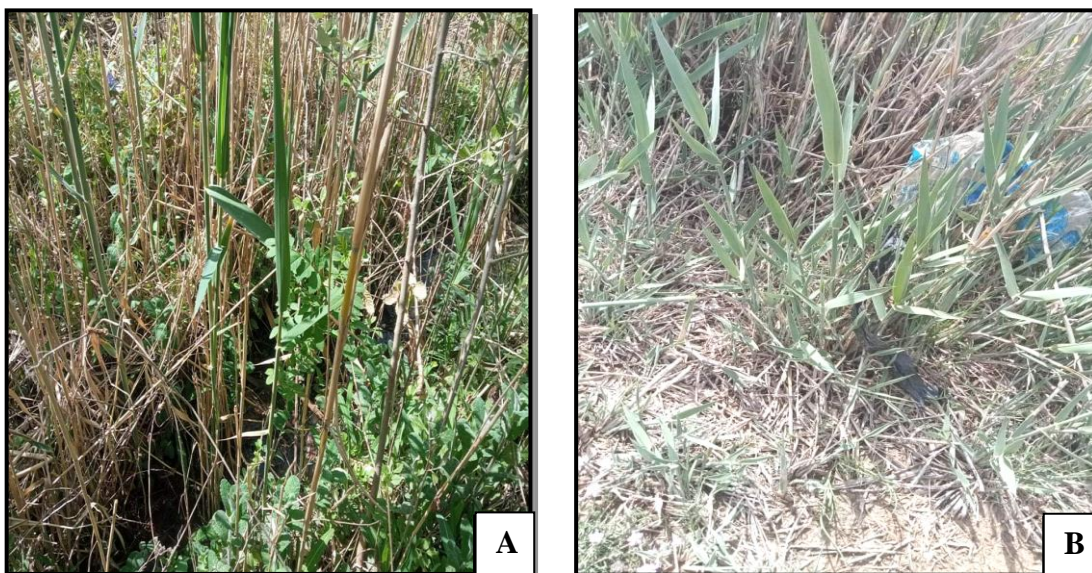


Figure 1 : Plantes de *Phragmites australis* présentes dans les deux sites d'étude : témoin (A) et pollué (B) (**Photo personnelle**).

1.1. Description de l'espèce

Le roseau commun, *Phragmites australis* (**Figure 1A**) est une plante aquatique macrophyte vivace herbacée de la famille des *Gramineae* (*Poaceae*). Cette plante porte des rhizomes hemicryptophytes/géophytes et des tiges qui mesurent jusqu'à 6 mètres de hauteur et 4 à 10 millimètres de diamètre. Le roseau est l'une des plantes vasculaires les plus répandues dans le monde (**Guidice et bonanno, 2010 ; Mal et Narine, 2014**). C'est une espèce aquatique qui se

trouve naturellement dans les milieux humides ou les plaines inondables, comme les marais d'eau douce, les rives des fleuves, les rivières et les lacs (Mal et Narine, 2014).

C'est une plante à feuilles lisses lancéolées de 20 à 70 cm de long et de 1 à 5 cm de large, une inflorescence dense sous forme d'une grande panicule, souple plumeuse brun-rouge avec des épillets pédicellés mesurant de 10 à 15 mm de long, étroitement aigus comprenant de 3 à 7 fleurs. La floraison a lieu entre les mois de juillet et novembre (Francis, 2004 ; Vymazal et al., 2007). Ses fruits sont des akènes appelés caryopses de couleur doré à brune, pourvus de poils soyeux blancs où la capsule contient une seule graine noire (Krzakowa et al., 2007) (Figure 1).

Les roseaux sont connus par de remarquables activités biologiques. Plusieurs travaux confirment qu'ils sont capables d'absorber et de concentrer des quantités importantes de certains polluants où ils contribuent à l'épuration des eaux usées grâce à leur système racinaire très développé (Figure 2) (Giudice et Bonanno, 2010). L'intense réseau racinaire favorise ainsi la fixation des bactéries épuratrices sur les rhizomes. Ces racines abritent donc une flore bactérienne importante, qui se nourrit des effluents et dégrade la matière organique (Daloz, 2007). Des études effectuées par Kleche et al. (2013) ont également montré que les racines de *Phragmites australis* présentent des effets d'absorption/adsorption des métaux, représentés par une accumulation de zinc et de fer.



Figure 2 : Développement racinaire et du rhizome de *Phragmites australis* (Benameur, 2018).

1.2. Classification de l'espèce

Nous avons opté pour la classification proposée par (Ollendorf et al., 1988)

- Règne : Plantae
- Classe : Monocotylédones
- Ordre : Poales
- Famille : Poaceae
- Sous-famille : Arundinoideae
- Genre : *Phragmites*
- Espèce : *Phragmites australis*

2. Présentation des sites d'échantillonnage

2.1. Localisation géographique du premier site : Forêt d'El-Hammadia « Maali » :

Le premier site d'échantillonnage "Maali" est situé à une altitude moyenne de 1132 mètres, dans la forêt domaniale de Ouled - Khelouf, Daira d'El Hammadia à Bordj Bou Arreridj. La superficie de la forêt est de 16015 ha, elle est caractérisée par une couverture végétale moyenne. Elle est bordée au nord par la municipalité d'El-Eush et la commune d'EL-Rabeta, au sud par la willaya d'El-M'sila à l'est par la Daira de Bordj El-Ghadir, et à l'ouest par le barrage d'El-Qasab (Boulalet Tayeb, 2018) (Figure 3).

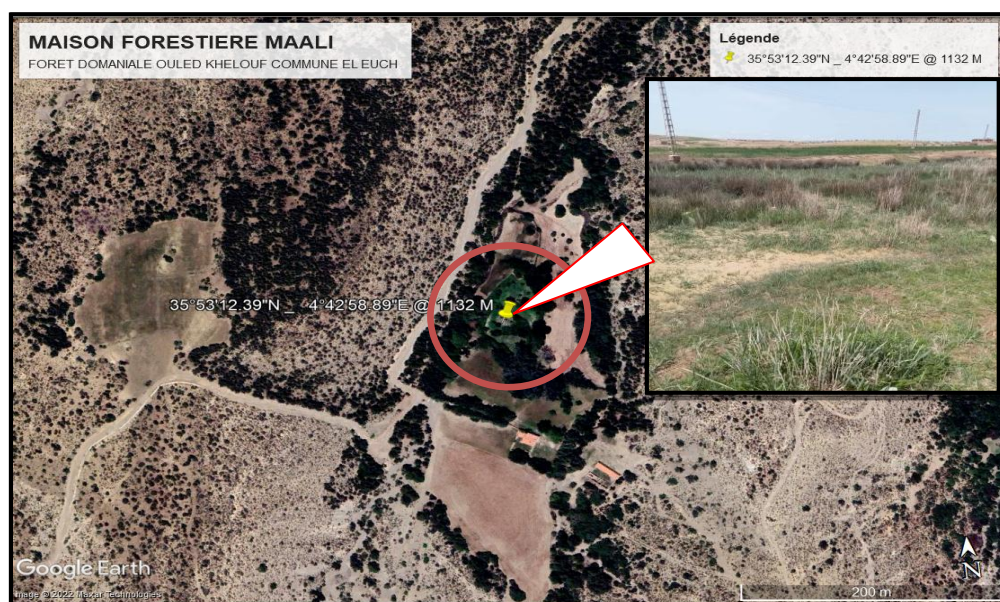


Figure 3 : Localisation de la forêt d'El Hammadia « Maali » (Google Earth, 2022).

2.2. Localisation géographique du deuxième site : barrage Ain Zada « l'oued Dalette », Bordj Bou Arreridj

Le barrage d'Ain Zada est un barrage en remblai situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj à 25 km à l'Ouest de Sétif et à 40 km à l'Est de Bordj Bou Arreridj. Il est implanté dans la commune d'Ain-Taghrout sur l'Oued Boussellam (direction Sud-Nord) au niveau de la jonction avec l'Oued Ain-Taghrout à l'Ouest, l'Oued Kharoua au Nord-est et l'Oued Malah au Sud-est (Mebarkia, 2011) (Figure 4).

- Caractéristiques du barrage

Le barrage d'Ain zada permettra actuellement d'emmagasiner un volume d'eau de 121,400 Mm³ (mégamètres cube) régularisant ainsi un volume de 50 Mm³ par an, afin d'assurer les besoins en eau potable et industrielles des populations des villes en rapide expansion de la région notamment les villes de Sétif, Bordj Bou Arreridj, El Eulma, Bouгаа et d'autres communes (Mebarkia, 2011).

Par sa géomorphologie, son climat semi-aride, sa vocation agricole et par la présence de plusieurs industries, cette région est soumise à un degré de vulnérabilité assez important, additionné à des rejets d'eaux usées. Dès lors, ces facteurs exposent les eaux superficielles à une pollution sévère (Benlaharche, 2019).



Figure 4 : Localisation de l'Oued « Dalette » du barrage d'Ain Zada (Google Earth, 2022).

3. Paramètres étudiés

Les échantillons de *Phragmites australis*, prélevés à partir des deux sites précédemment cités, ont été transportés au laboratoire, puis rincés avec de l'eau distillée pour servir aux dosages des différents paramètres.

3.1. Mesure des paramètres biométriques :

Après collecte des échantillons, nous avons procédé au dénombrement du **nombre moyen des racines (NMR)**, et la mesure de la **longueur moyenne des racines (LMR)** à l'aide d'une règle graduée.

3.2. Dosage des paramètres physiologiques

3.2.1. Dosage des chlorophylles et des pigments caroténoïdes

L'extraction des chlorophylles et des caroténoïdes est effectuée selon la méthode de **Holden (1975)**, qui consiste en une macération du végétal dans de l'acétone. Le traitement des échantillons se fait comme suit :

On pèse 1 g de feuilles de *Phragmites australis* coupées en petits morceaux et broyées dans un mortier avec 25 ml d'acétone à 80% et une pincée de bicarbonate de calcium (CaCO_3). Après le broyage total, la solution est ensuite filtrée et mise dans des boîtes noires afin d'éviter l'oxydation des chlorophylles par la lumière.

La lecture se fait aux trois longueurs d'onde 663 nm, 645 nm et 470 nm après étalonnage du spectrophotomètre avec la solution d'acétone à 80%. Les teneurs en chlorophylles totales et caroténoïdes, sont exprimées en mg/g de poids frais. Les équations ci-dessous nous permettent de calculer les valeurs des chlorophylles (**Arnon, 1949**):

$$\text{Chl a} = 12,7 \times \text{DO}_{663} - 2,69 \times \text{DO}_{645}$$

$$\text{Chl b} = 22,9 \times \text{DO}_{645} - 4,68 \times \text{DO}_{663}$$

$$\text{Chl a+b} = 20,2 \times \text{DO}_{645} + 8,02 \times \text{DO}_{663}$$

La teneur en caroténoïdes a été calculée selon l'équation suivante :

$$\text{C} = 1000 \times \text{DO}_{470} - 1,90 \text{ Chl a} - 63,14 \text{ chl b} / 214$$

3.3. Dosage des paramètres biochimiques

3.3.1. Dosage des protéines totales

Les protéines totales des feuilles et des racines de *Phragmites australis* sont dosées selon la méthode de **Bradford, (1976)** utilisant l'albumine de sérum de bœuf (BSA) comme standard (Merk). La gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/ml). La lecture se fait à une longueur d'onde de 595 nm.

3.4. Dosage des paramètres enzymatiques

3.4.1. Préparation de l'extrait enzymatique

La méthode adoptée afin d'obtenir l'extrait enzymatique du végétal est celle de **Loggini et al., (1999)**, 500 mg du végétal (racines et feuilles) sont broyées à froid à l'aide d'un mortier dans un tampon phosphate (50ml NaK, pH = 7,2) à raison de 1ml du tampon pour 1 g de MF.

L'homogénat est ensuite filtré à l'aide d'une toile adéquate avant de procéder à une centrifugation à froid à 12000 g pendant 20 mn. Le surnageant obtenu sera utilisé comme extrait pour la détermination de l'activité Catalase.

3.4.2. Dosage de l'activité Catalase (CAT)

Le dosage spectrophotométrique de l'activité Catalase (CAT) est réalisé suivant la méthode de **Boscoloa et al. (2003)**. La décroissance de la densité optique est enregistrée pendant 3 mn au spectrophotomètre pour une longueur d'onde de 240 nm et un coefficient d'extinction linéique molaire $\epsilon = 39400 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}\text{L}$. Pour un volume final de 3 ml, le mélange réactionnel contient 100 μl de l'extrait enzymatique brute, 50 μl de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 à 0,3 % et 2,8 ml de tampon NaK (50 mM Na K, pH= 7,2). L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'addition d'eau oxygénée. L'activité Catalase est exprimée en nmol/min/mg de protéines, elle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Act (nmol/min/mg)} = \frac{\Delta A. Vt}{\epsilon. T. L. V e. p}$$

Où : **Act**: Activité enzymatique en nmole/min/mg de Protéines.

ϵ : Coefficient d'extinction linéique molaire en M.

ΔA : Différence moyenne de l'absorbance.

V_t : Volume total du mélange réactionnel en ml.

V_e : Volume de l'extrait enzymatique en ml.

L : Largeur de la cuve de mesure en cm.

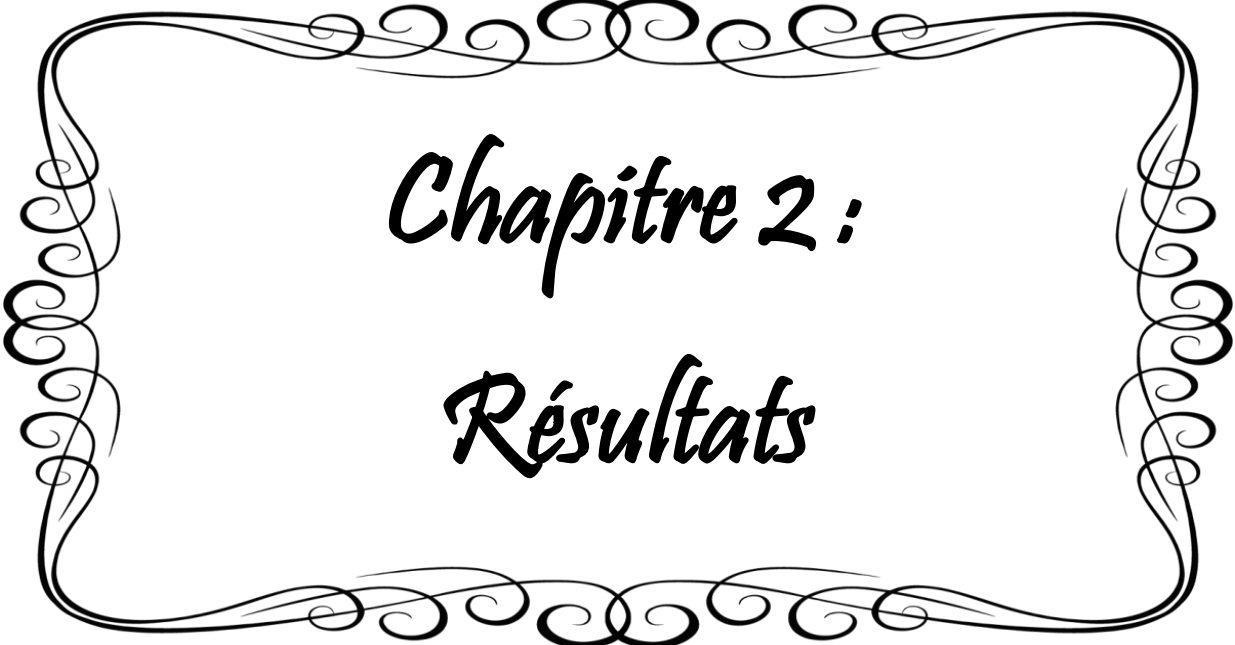
p : Teneur en protéine en mg/g.

T : Temps de lecture.

4. Etude statistique

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse statistique grâce au logiciel Minitab (Version 14.0). Pour chaque paramètre mesuré, trois répétitions ont été réalisées ($n=3$). Une analyse de la variance à un critère de classification a été effectuée en utilisant le test ANOVA.

Les différences sont considérées comme significatives lorsque $p \leq 0,05$; hautement significatives lorsque $p \leq 0,01$ et très hautement significatives lorsque $p \leq 0,001$.



Chapitre 2 :
Résultats

1. Effet de la pollution environnementale sur les paramètres biométriques chez *Phragmites australis* :

1.1. Effet sur le nombre moyen des racines :

La figure ci-dessous représente le nombre moyen de racines enregistré chez *P. australis* prélevée des sites Témoin et Pollué.

Les résultats obtenus montrent que le NMR est plus élevé dans le site P par rapport au site T. En effet, nous avons noté un nombre moyen de l'ordre de 21 racines pour le site P, alors qu'il n'est que de 8.66 racines pour le site T.

L'analyse de la variance à un critère de classification révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les deux sites de prélèvement ($p = 0.000$).

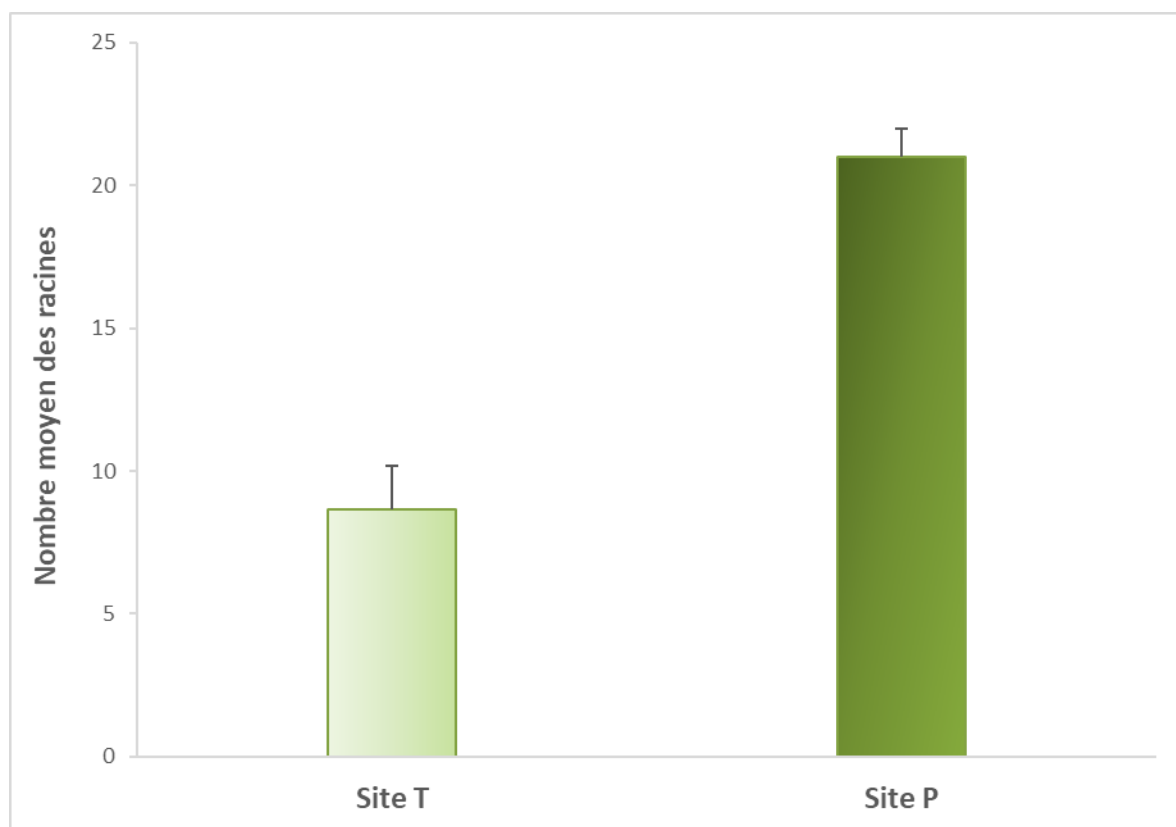


Figure 5 : Le nombre moyen des racines chez *P. australis* prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$).

1.2. Effet sur la longueur moyenne des racines :

La **figure (6)** met en évidence l'effet de la pollution environnementale sur la longueur moyenne des racines chez *P. australis*.

Les résultats obtenus montrent que la LMR est plus élevée dans le site P comparativement au site T. En effet, la LMR des plantes prélevées du site T est de l'ordre de 7,5 cm alors qu'elle atteint 30 cm pour celles du site P.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre l'existence d'une différence très hautement significative entre les deux sites étudiés ($p = 0.000$).

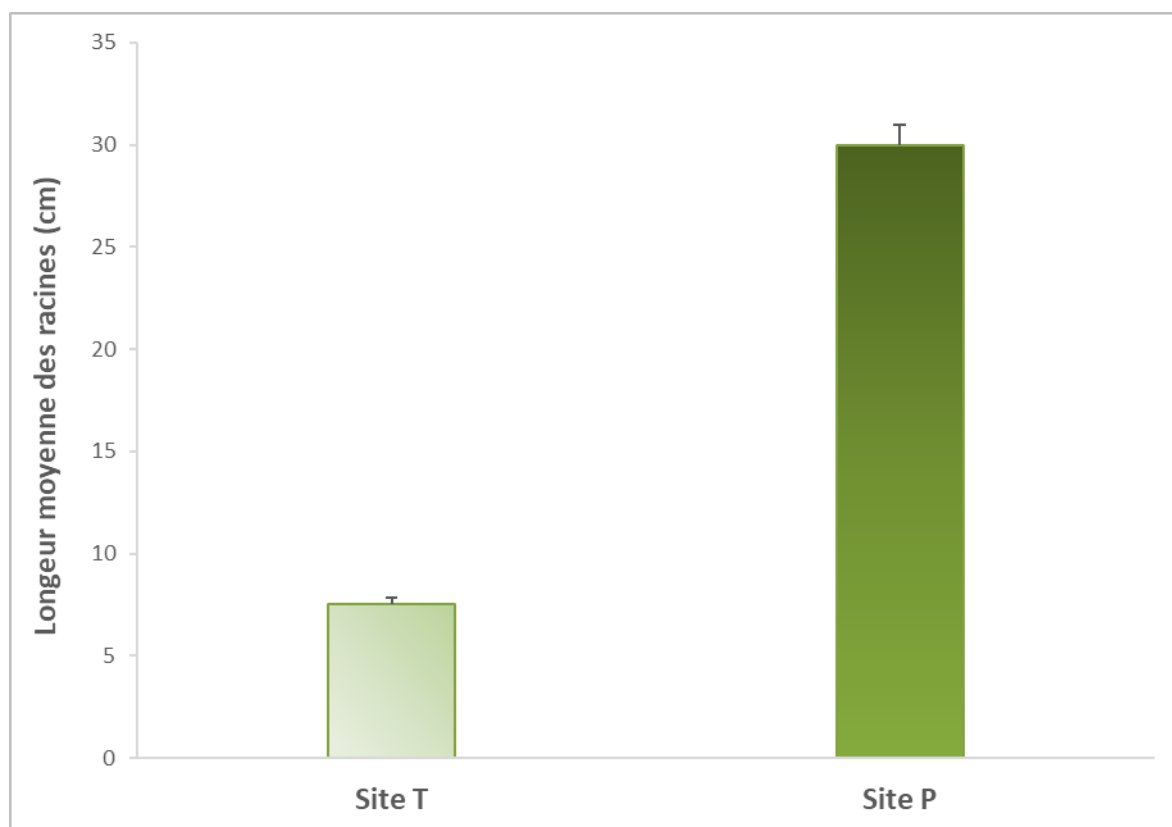


Figure 6 : Longueur moyenne des racines chez *P. australis* prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$).

2. Effet de la pollution environnementale sur la synthèse des pigments photosynthétiques chez *Phragmites australis* :

Le **tableau (I)** regroupe l'ensemble des résultats concernant l'effet de la pollution environnementale sur la synthèse des chlorophylles et des caroténoïdes au niveau des feuilles de *P. australis*.

Les valeurs enregistrées, indiquent que les teneurs en chlorophylle a, b, a+b et caroténoïdes dans le site P sont inférieures aux teneurs enregistrées dans le site T. Ainsi, le taux de la chlorophylle a passe d'une moyenne de 23,10 mg/g MF pour les plantes du site T à environ 19 mg/g MF pour celles prélevées du site P. Concernant la teneur en chlorophylle b, elle varie d'une moyenne de 13,16 mg/g MF pour le site T à une moyenne d'environ 10 mg/g MF pour le site P. La teneur en chlorophylle a+b, quant à elle, passe d'une valeur de l'ordre de 36,27 mg/g MF pour le site T à une valeur de 29,29 mg/g MF pour le site P. Parallèlement, la teneur en caroténoïdes enregistrée chez les plantes prélevées du site P est d'environ 21 mg/g MF, par rapport à celle des plantes prélevées du site T qui n'est que de 18,55 mg/g MF.

L'analyse de la variance à un critère de classification nous a permis de mettre en évidence la présence de différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les deux sites, pour la chlorophylle b, a+b et les caroténoïdes. En ce qui concerne la chlorophylle a, aucune différence significative n'a été notée ($p > 0,05$).

Tableau I : Effet de la pollution environnementale sur la teneur en chlorophylles a, b, a+b et en caroténoïdes chez *P. australis* ($m \pm SD$; $n = 3$).

Paramètres Sites	Chlorophylle a (mg/g MF)	Chlorophylle b (mg/g MF)	Chlorophylle a+b (mg/g MF)	Caroténoïdes (mg/g MF)
Site Témoin	23,10 ± 0,55	13,16 ± 2,16	36,27 ± 1,71	20,97 ± 1,80
Site Pollué	19,13 ± 3,36	10,15 ± 0,11	29,29 ± 3,24	18,55 ± 1,37

3. Effet de la pollution environnementale sur le taux de protéines totales chez *Phragmites australis* :

Les résultats relatifs à l'effet de la pollution environnementale sur la teneur en protéines totales foliaires et racinaires chez *P. australis* sont représentés dans la **figure (7)**.

Nos résultats montrent que les valeurs enregistrées au niveau du site T sont plus faibles comparativement à celles enregistrées au niveau du site P. En effet, au niveau foliaire, la teneur en protéines totales chez les plantes prélevées du site T est de l'ordre de 12,98 µg/g de MF et atteint 14,27 µg/g de MF chez celles prélevées du site P. Au niveau racinaire, le taux de protéines totales suit la même tendance, où il passe d'une moyenne d'environ 13 µg/g de MR pour le site T à 30,02 µg/g de MR pour le site P.

L'analyse de la variance à un critère de classification indique l'existence d'une différence très hautement significative au niveau racinaire ($p=0,000$) entre les deux sites étudiés. En revanche, au niveau foliaire, aucune différence significative n'a été observée entre ces deux sites ($p > 0.05$).

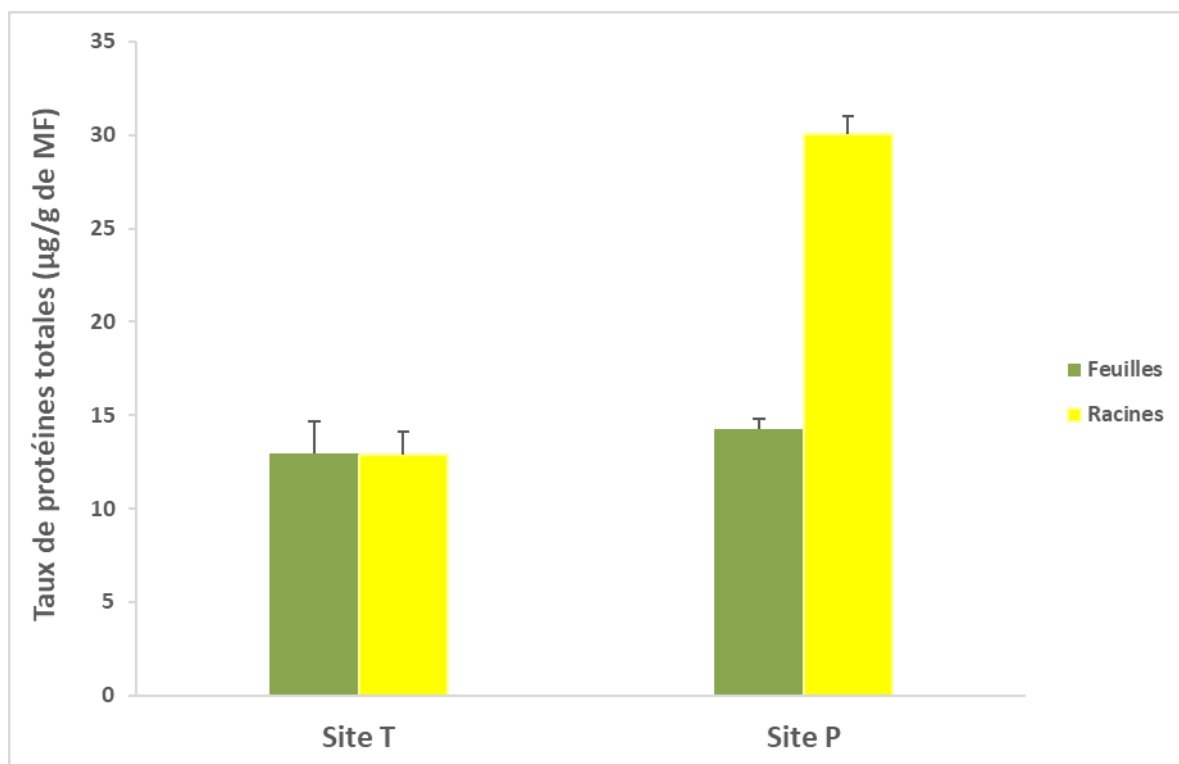


Figure 7 : Teneurs en protéines totales foliaires et racinaires chez *P. australis* prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$).

4. Effet de la pollution environnementale sur l'activité catalase chez *Phragmites australis* :

La **figure (8)** représente la variation de l'activité catalase foliaire et racinaire chez *P. australis* prélevée des deux sites.

Les résultats obtenus mettent en évidence une augmentation de l'activité CAT racinaire et foliaire dans le site P par rapport au site T. Ainsi, l'activité catalase racinaire passe de 0,08 nmol/min/mg de protéines chez *P. australis* prélevée du site T à 0,38 nmol/min/mg de protéines chez celle prélevée du site P. L'activité CAT foliaire, quant à elle, est de l'ordre de 0,1 nmol/min/mg de protéines chez les plantes du site P, alors qu'elle n'est que de 0,05 nmol/min/mg de protéines chez celles du site T.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre l'existence d'une différence hautement significative ($p=0,006$) au niveau foliaire et très hautement significative au niveau racinaire ($p=0,001$), et ce entre les deux sites étudiés.

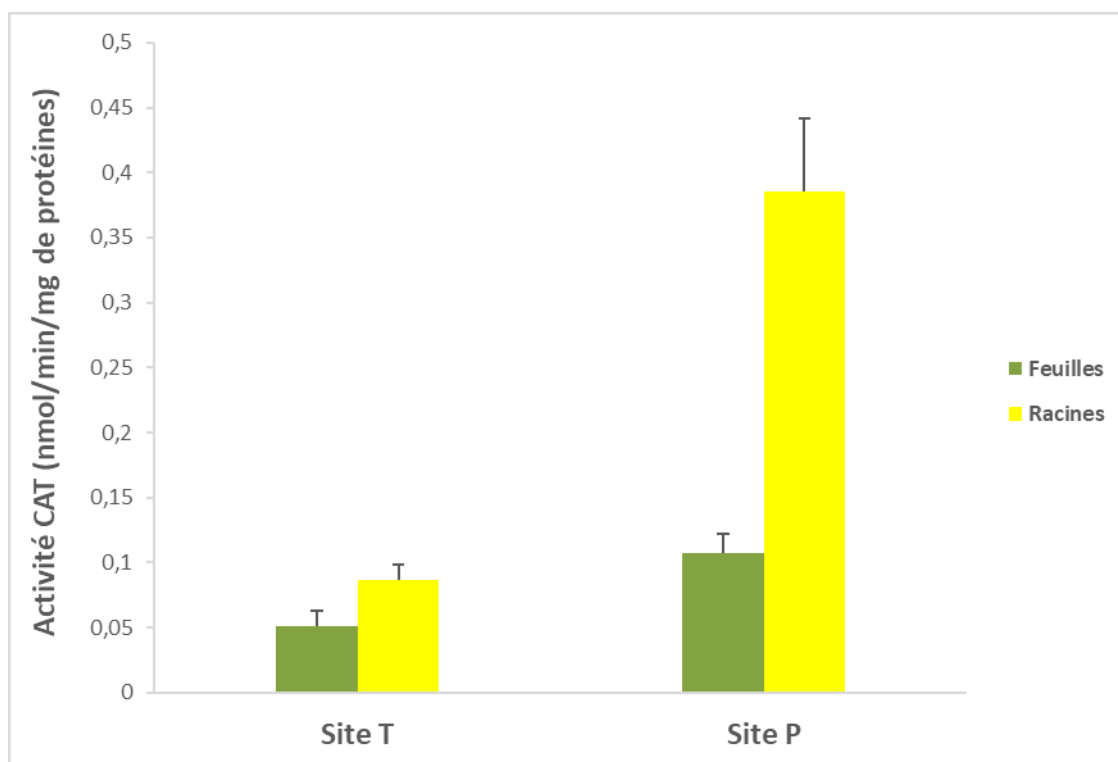


Figure 8 : Variation de l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines de *P. australis* prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$).



Chapitre 3 :
Discussion

La pollution des milieux aquatiques est un problème majeur tant pour la population humaine, utilisatrice des ressources en eau, que pour les populations végétales et animales pour lesquelles l'eau représente le milieu de vie. La composition chimique des eaux et des sédiments peut directement agir sur la nature, la diversité et la répartition des végétaux aquatiques en particulier les plantes épuratrices puisque celles-ci peuvent le plus souvent se nourrir à partir de ces deux compartiments abiotiques de l'écosystème. Cette influence peut être négative sur le développement végétal dans le cas de pollutions organiques ou chimiques sévères (**Biteur, 2012**).

Les variations de l'environnement auxquelles sont sujets les végétaux les contraignent à posséder une forte capacité d'adaptation. Lorsque ces changements sont trop brutaux, ils peuvent provoquer l'apparition d'un stress oxydant caractérisé par la formation des espèces réactives de l'oxygène (ROS) (**Mittler, 2002**). Ceux-ci possèdent un fort pouvoir oxydant et vont réagir avec la plupart des molécules biologiques, entraînant d'importantes modifications de leurs propriétés physico-chimiques aux conséquences néfastes pour l'intégrité de la cellule (**Chagra, 2010**). Pour empêcher ces dommages cellulaires, ou les limiter, les plantes sont dotées de systèmes de défense antioxydants très complexes faisant intervenir des espèces enzymatiques et non-enzymatiques. Ces derniers sont utilisés en tant que biomarqueurs du stress. Ils sont considérés comme outils de bio surveillance mis en œuvre pour établir un diagnostic du risque environnemental. Leurs usages et leur intérêt, notamment dans la détermination de la pollution sont devenus incontournables (**Bedouh, 2014**).

C'est dans ce contexte que nous voulions élucider, à travers ce travail, les effets de la pollution environnementale sur une macrophyte aquatique épuratrice et tolérante au stress « *Phragmites australis* ». Pour cela, nous nous sommes intéressés à la mesure de différents paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques chez cette plante prélevée d'un site pollué par des rejets industriels (Oued Dalette) de la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Plusieurs travaux se sont intéressés à l'étude des réponses des macrophytes face à un stress généré par la présence de polluants dans le milieu (**Souiki, 2008 ; Semadi, 2010 ; Kleche, 2013 et Derradji, 2015**). Ces études ont montré que les stress environnementaux, comme la pollution, la sécheresse, la salinité et les basses températures, sont des conditions qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Contrairement aux animaux, qui peuvent se déplacer, lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en

contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques (Sánchez-Chardi *et al.*, 2009 ; Siwela *et al.*, 2009 ; Bensaid, 2010).

P. australis possède une capacité à pousser dans des milieux pollués et à extraire différents polluants de leur milieu environnant sans modifications biométriques, biochimiques et enzymatiques graves. Pour confirmer le pouvoir de cette plante à survivre, face à une pollution de son milieu, nous nous sommes intéressées en premier lieu, à la mesure des paramètres biométriques. D'après les résultats obtenus, cette plante avait, un système racinaire très développé dans le site pollué par rapport au site témoin. Selon Pilon-Smits (2005) et Abhilash *et al.* (2009), ces plantes possèdent une capacité importante de tolérance à la pollution et sont dotées d'un système racinaire large et dense, leur permettant d'absorber et d'accumuler des concentrations importantes de ces polluants dans leurs tissus. Par leurs racines développées, elles explorent une plus vaste zone des sols pollués. Des résultats similaires ont été également obtenus par Bensaid (2010) chez *Typha latifolia* (macrophyte aquatique) prélevée à proximité du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba).

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'étude des effets du stress environnemental sur la teneur en pigments photosynthétiques (chlorophylles et caroténoïdes) chez *P. australis*. En effet, les teneurs en chlorophylles et en caroténoïdes, sont des paramètres sensibles susceptibles de nous indiquer un éventuel stress, car considérés comme biomarqueurs de la toxicité chez les végétaux (Dewez *et al.*, 2007).

Les concentrations des pigments photosynthétiques sont souvent mesurées pour évaluer l'impact de nombreux stress environnementaux (Hikosaka *et al.*, 2006). Selon nos résultats, la présence de *P. australis* dans un environnement pollué a induit un abaissement des teneurs en chl *a*, chl *b*, chl *a+b* et en caroténoïdes comparativement aux teneurs enregistrées chez la plante présente dans le site témoin. Nos résultats, concordent avec ceux de Tlidjen *et al.*, (2012), qui ont observé une diminution du taux des chlorophylles (*a*, *b* et *a+b*) et caroténoïdes chez les plantes aquatiques *Elodea canadensis* et *Lemna minor*, exposées au Calliofop 36EC (herbicide).

La diminution de la chlorophylle constitue un des événements primaires chez les plantes soumises à un stress environnemental, et résulte probablement de l'inhibition des enzymes responsables de la biosynthèse de la chlorophylle (Mysliwa-Kurdziel *et al.*, 2002). Le stress induit par la pollution diminue le taux d'assimilation du CO₂ provoquant des perturbations dans le processus de la photosynthèse, ainsi que la dégradation de la chlorophylle et/ou l'inhibition de sa biosynthèse ; ce qui pourrait entraîner des perturbations

dans le transport du flux d'électrons du PSI et PSII conduisant à la réduction de l'O₂ et à la génération de radicaux libres (**Moussa, 2004**).

Aoun (2009) explique, quant à lui, la diminution des teneurs en caroténoïdes par une forte accumulation des polluants dans les feuilles des plantes, celle-ci est responsable de la production de radicaux libres qui peuvent entraîner une destruction partielle des antioxydants que sont les caroténoïdes mais également la chlorophylle a.

Concernant les paramètres biochimiques, nous nous sommes orientés vers la mesure des teneurs en protéines totales au niveau des racines et des feuilles de *P. australis*. Les résultats obtenus révèlent une augmentation de la synthèse protéique chez les plantes du site pollué par rapport à celles du site témoin. Cette augmentation est plus marquée au niveau des racines. Ces résultats s'expliquent par le fait que la présence de polluants toxiques à l'intérieur des tissus végétaux, stimule la synthèse protéique de nombreuses enzymes, entre autres celles intervenant dans la détoxification. Ceci est en parfait accord avec les résultats de **Shradha Singh et al., (2004)**, qui montrent une augmentation des protéines suite à une exposition aux métaux lourds. Une augmentation de la teneur en protéines a été également signalée par **Bensaid (2010)** chez la massette *Typha latifolia* (macrophyte aquatique) exposée à une pollution industrielle.

Selon **Derradji (2015)**, les eaux usées stimulent la synthèse des protéines notamment au niveau des racines, ceci pourrait s'expliquer par le fait que les racines présentent le siège de résistance de la plante aux différents stress, parce qu'elles sont rattachées au sédiment dont elles sont exposées à des concentrations élevées de xénobiotiques grâce à leur système enzymatique actif. D'autre part, l'ammonium présent dans les eaux usées est assimilé par *Phragmites australis*. La présence de ce dernier à l'intérieur des tissus stimule la synthèse de nombreuses enzymes de détoxification (**Shraddah et al. 2004**).

Gardés-albert et al., (2003) expliquent l'augmentation des protéines par le fait que la plante cherche à protéger son intégrité morpho-physiologique, en réponse aux dommages et aux effets défavorables induit par la pollution en élaborant des protéines. D'après **Boumedris (2014)**, l'augmentation des protéines est due à l'effet des ROS, ce qui fait partie de la stratégie moléculaire de la tolérance au stress. D'après **Zienk (1996)**, l'augmentation du taux de protéines dans les racines et les feuilles des roseaux placés dans une eau polluée est due au fait qu'au niveau cellulaire des réactions de détoxification ont lieu grâce aux phytochélatines. Ceci induit la formation d'un complexe protéine/métal.

Enfin, nous avons jugé essentiel de s'intéresser au dosage d'une enzyme intervenant dans la détoxification, à savoir la catalase, qui catalyse la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène en molécule d'eau et d'oxygène. Nos résultats montrent que la présence de polluants dans le milieu, a tendance à stimuler cet enzyme. En effet, nous avons mis en évidence une élévation de l'activité enzymatique, dans les échantillons prélevés du site pollué, comparativement aux échantillons du site témoin, et ce au niveau des deux compartiments de *P. australis* (racines et feuilles). Ceci pourrait être dû au déclenchement de systèmes de détoxification, ce qui permet une tolérance et une adaptation aux stress se traduisant ainsi par une augmentation de ces enzymes (CAT), qui jouent un rôle en régulant les concentrations des ROS (Lin, 2000). Ces résultats abondent dans le même sens que ceux de Derradji (2015) qui ont montré une stimulation de l'activité CAT chez *Phragmites australis* soumise au stress induit par les eaux usées domestiques. Par ailleurs, Yang et Poovaiah (2002), suggèrent que l'augmentation de l'activité catalase, est étroitement liée à l'augmentation de la concentration intracellulaire, du peroxyde d'hydrogène et du Ca²⁺. En situation de stress, une augmentation de la teneur en calcium entraîne une stimulation de l'activité de cette enzyme, suite à la fixation de l'ion calcique à une protéine cytosolique appelée calmoduline, formant un complexe Ca²⁺/calmoduline. Ce dernier joue le rôle d'une molécule signal, stimulant l'activité de la catalase. Il convient de signaler que l'activité enzymatique est plus importante au niveau racinaire, ceci pourrait être expliqué par le fait que les racines sont les premiers organes à être en contact avec les polluants, ce qui permet l'accumulation de ces derniers à des concentrations beaucoup plus élevées aux niveau des racines qu'au niveau des feuilles, ce qui augmente l'intensité du stress (Hegedus et al., 2001).



Conclusion et perspectives

L'adaptation des végétaux aux conditions défavorables de leur milieu, nécessite des modifications morphologiques et métaboliques. Ces changements aident à la fois à minimiser les effets nocifs du stress et permettre à la plante de survivre.

L'objectif de notre travail est l'évaluation de l'impact de la pollution environnementale sur la plante aquatique « *Phragmites australis* ». L'adaptation des roseaux à la pollution industrielle, s'est traduite par un ensemble de modifications : biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques.

Les résultats obtenus indiquent, d'une part, un développement racinaire très important dans le site pollué (Oued Dalette) par rapport au site témoin. Ces racines permettent aux plantes d'absorber et d'emmagasiner des quantités de plus en plus importantes de polluants. D'autre part, la présence de polluants dans le milieu, a provoqué une diminution de la synthèse des pigments photosynthétiques, où nous avons enregistré des taux plus faibles en chlorophylles *a*, *b*, *a+b* et en caroténoïdes chez les plantes prélevées du site pollué comparativement à celles du site témoin.

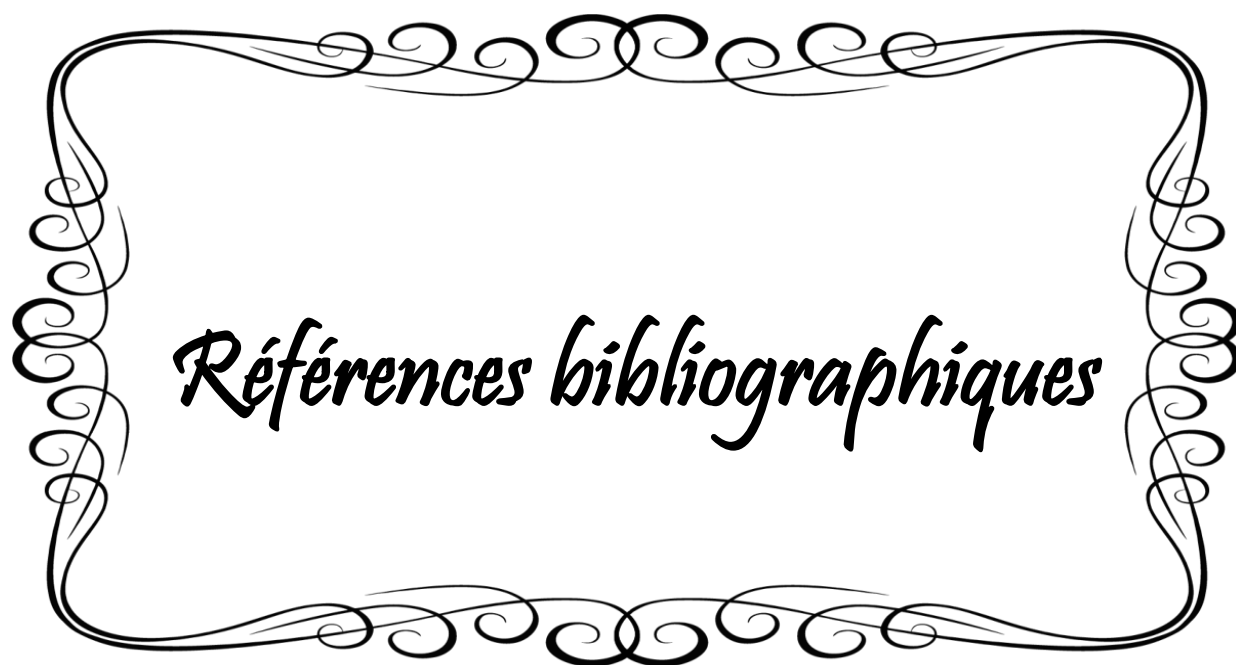
Sur le plan biochimique, les résultats obtenus mettent en évidence une augmentation importante du taux de protéines totales (foliaires et racinaires), due à une activation du système de détoxification.

Sur le plan enzymatique, le stress s'est manifesté par une augmentation de l'activité CAT au niveau racinaire et foliaire dans le site pollué par rapport au site témoin.

Au terme de ce travail, il ressort que le roseau « *Phragmites australis* » est un bio-indicateur d'une haute performance qui peut être efficacement utilisé pour la bio-surveillance de la qualité des eaux.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Réaliser une analyse des eaux du site pollué pour caractériser la nature des polluants rejetés.
- Etudier les performances épuratrices de cette plante en procédant à l'installation d'un système de filtration planté de roseaux.

A decorative rectangular frame with a scalloped border, featuring intricate scrollwork and flourishes. The frame is centered on the page and contains the text "Références bibliographiques" in a cursive font.

Références bibliographiques

- Aoun M, 2009.** Action du Cadmium sur les plants de moutarde indienne [*Brassica juncea* (L Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de Doctorat. Université de Bretagne Occidentale, 135 p.
- Arnon, D.I., 1949.** Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24: 1-25.
- Bahroun S, Kherici Bousnoubra H., 2011.** Évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'El Tarf (nord-est algérien). *Larhyss Journal*, 9, 171-178.
- Bedouh, Y. 2014.** Evaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon «*Allium Cepa* ». Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 128p.
- Benameur N (2018).** Analyse des indicateurs de pollution biologique dans les rejets des eaux Usées civiles de la Ville de Biskra. Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider, BISKRA, Algérie, 145 p.
- Benlaharche R., 2019.** Ecologie de la Foulque macroule *Fulica atra* dans la région des Hautes Plaines de l'Est Algérien (Cas du barrage d'Ain-Zada et le lac d'El-Aria). Thèse de Doctorat, Université Larbi Ben M'Hidi Oum-El-Bouaghi, Algérie, 129 p.
- Biteur, N. 2012.** Essais d'utilisation du radis (*Raphanus sativus*) dans la phytoremédiation (biodepollution) au niveau du sol contaminé par les métaux lourds (plomb) : Etude du stress oxydatif et quelques paramètres enzymatiques. Thèse de doctorat, Université d'Oran, 110p.
- Boscoloa P., Menossib M., Renato JA, 2003.** Aluminium-induced oxidative stress in maize. *Phytochemistry* 62, 181-189.
- Boulal R et Tayeb I (2018).** Etude de la biodiversité entomologique au niveau des deux sites Boumergued et El Hammadia dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Mémoire de Master 2. Université El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, Algérie, 39 p.
- Boumedris ZE., Benosmane S., Amamra R., Berrebbah H, 2014.** Effects of Cadmium on water content, soluble protein, proline changes and some antioxidant enzymes in wheat (*Triticum durum* Desf.) leaves. *Annual Research & Review in Biology* 4(24), 3835-3847.

- Bradford M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing a principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72 : 248-254).
- Burger J., 2006.** Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental bioindicators*, 1, 136-144.
- Chafaa M., 2015.** Bio-surveillance des métaux lourds (Pb, Zn, Cu) à la sortie de la station d'épuration de Tiaret (Algérie) au moyen des végétaux aquatiques : plante *Lemna minor*, algue *Spyrogyra link sp* et bryophyte *Fontinalis antipyretica*. Thèse de Doctorat, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, Algérie, 96p.
- Chagra A., 2010.** Effets du cadmium et des traitements combinés Cd/Ca²⁺ à l'échelle cellulaire et subcellulaire. Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 136p.
- Daloz A., 2007.** L'épuration des eaux usées par les filtres plantés. Mémoire de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon Formation continue au développement durable et équitable.
- Derradji M., 2015.** Contribution à l'étude de la tolérance des plantes épuratrices dans l'épuration des eaux usées : stratégie et application. Thèse de doctorat. Université d'Annaba 140p.
- Francis JK., 2001.** Wildland Shrubs of the United States and Its Territories: Taxonomic Descriptions. Gen Tech. Rep. IITF-GTR-26. San Juan, PR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, and Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1, 830
- Gardés-Albert, M., Bonnefont-Rousselot, D., Abedinzadeh, Z. and Jore, D. 2003.** Espèces réactives de l'oxygène. *L'actualité chimique*, pp.91-96.
- Garrec JP., 2007.** Biosurveillance végétale de la pollution de l'air et de l'eau. Base documentaire. Technique de l'ingénieur. 62 p.
- Giudice RL, Bonanno G., 2010.** Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites Australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*. 10, 639-645
- Hegedüs, A., Erdei, S. and Horvath, G. 2001.** Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. *Plant Sciences*. 160; 1085- 1093.

- Ivanowsky A., 2016.** Ouvrages d'assainissement des eaux et qualité du milieu récepteur en zone urbaine. Cas de rejets dans la Marque à Villeneuve d'Ascq. Thèse de Doctorat. Université de Lille 1 (France). 229 p.
- Jiang X, Wang C., 2007.** Cadmium distribution and its effects on molybdate-containing hydroxylases in *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*. 86, 353-360.
- Kleeh M., 2013.** Utilisation des systèmes biologiques dans l'épuration des eaux usées cas de la région d'Annaba. Thèse de doctorat. Université d'ANNABA.
- Kleche M., 2013. Berrebbah H, Grara N, Bensoltane S, Djekoun M, Djebar MR** .Phytoremediation using *Phragmites australis* roots of polluted water with metallic trace Elements (MTE). *Annals of Biological Research*. 4 (3), 130-133.
- Krazakowa M 2003,** Kolodziejczak M, Drapikowska M, Jakubiak H. The variability of Reed (*Phragmites australis* (CAV) TRIN. EX Steud (POACEAE) populations expressed in Morphological traits of panicles *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 72 (2), 157-160.
- Lin, C.C. and C.H. Kao. 2000.** Effect of NaCl stress on H₂O₂ métabolisme in rice leaves.
- Loggini F 1999 and Youbi M., 2005.** Effets de deux fongicides Artea et Punch nouvellement introduits en Algérie sur la physiologie et le métabolisme respiratoire du blé dur (*Triticum durum* Desf).Thèse de Magister de l'Université Badji Mokhtar de Annaba.)
- Mal TK, Narine L., 2004.** The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud . *Can J Plant sci*. 365-396.
- Martens LK., 1999.** The plant food component of the diet at the late Mesolithic (Ertebolle settlement at Tybrind Vig, Denmark. *Veget Hist Archaeobot*. 8, 117-127.
- Mebarkia A ., 2011.** Etudes des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Ain Zada wilaya de bordj Bou-Arredj». (Nord-est Algérien). Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Metahri MS., 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat. Université de Tizi-Ouzou (Algérie). 172 p.
- Mittler, R. 2002.** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sciences*, 7:405–410.

- Moussa HR, 2004.** Effect of cadmium on growth and oxidative metabolism of faba bean plants. *Acta. Agron. Hung.*, 52, 269-276.
- Mysliwa-Kurdziel, B. and Strzalka, K. 2002.** Influence of metals on biosynthesis of photosynthetic pigments. *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, Prasad M.N.V. et Strzalka K. eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 201-227.
- Ollendorf AL, Mulholland SC, Rapp, jr G Phytolith., 1988.** Analysis as a Means of Plant Identification : *Arundo donax* and *Phragmites communis*. *Annals of Botany.* 61, 209-214.
- Pilon-Smits, E. 2005.** Phytoremediation. *Annual Review Plant Biology*, 56: 15–39.
- Ramade F., 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Paris : Lavoisier. 618p
- Rocha ACS, Almeida CMR, Basto MCP, Vasconcelos MTSD., 2014.** Antioxidant reponse of *Phragmites australis*. to Cu and Cd contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 109, 152-160.
- Sanchez-Chardi, A., Penarroja-Matutano, C., Bottas, M. and Nadal, J. 2009.** Bioaccumulation of metals and effects of a landfill in small mammals Part III : Structural alterations. *Environmental Research*, 109:960–967.
- Sellal A., 2018.** Etude de la pollution de Oued K'sob (région de Bordj Bou Arreridj) et de l'effet phyto-accumulateur de *Phragmites australis* (roseau). Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 125p
- Semadi F., 2010.** Faisabilité du traitement des eaux d'un oued chargé en éléments traces Métalliques (ETM) par filtres plantés de macrophytes (*Phragmites australis*) : cas de la Région d'Annaba. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 174p.
- Shraddha Singh, .S, Rohit Saxena, R. and Sarita Sinha, S. 2004.** Response of antioxidants in sunflower (*Helianthus annuus L.*) grown on different amendments of tannery sludge: its metal accumulation potential. *Chemosphere*, 57(11):1663-73.
- Siwela et al., 2009.** Metal accumulation and antioxidant enzyme activity in *C. gariepinus*, *Catfish*, and *O. mossambicus*, tilapia, collected from lower Mguza and Wright Dams, Zimbabwe. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83:648–651.

Souiki L., 2008. Caractérisations biochimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de Biskra et purification par le procédé biologique Phragmifiltre. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 174p.

Tlidjen, S. 2012. Impact de xénobiotiques, sur une végétation aquatique épuratrice des eaux usées : biométrie, aspect biochimique, enzymatique, métabolisme énergétique et cytotoxicité. Thèse de doctorat. Université d'ANNABA.

Vymazal J, Švehla J, Kro pfeleva L, Chrastny V., 2007 .Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. Sci. Total Environ. 380, 154-162.

Yang, T., Poovaiah, B.W. 2002. Hydrogen peroxide homeostasis: Activation of plant catalase by calcium/calmoduline. PNAS, 6:4097-4102.

Zienk, N.H. 1996. Heavy metal detoxification in higher plant a review-gene. 179: 21-30.

Résumé

Le but de notre recherche est d'étudier l'impact de la pollution environnementale sur « *Phragmites australis* » prélevée de deux sites différents : le premier site « Maali » (forêt d'El Hammadia) est moins pollué (considéré comme témoin), et le deuxième site (l'Oued « Dalette ») est soumis à une pollution sévère suite aux rejets d'eaux usées industrielles.

L'étude menée, vise à évaluer les différentes réponses de *P. australis* face au stress. Nos résultats mettent en évidence des changements biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques chez la plante prélevée du site pollué comparativement à celle du site témoin. Ces changements se traduisent par la présence d'un système racinaire très développé, une réduction de la synthèse des pigments photosynthétiques, une augmentation de la synthèse protéique et une d'intensification de l'activité catalase suite à l'activation du système de détoxification.

Mots clés : *Phragmites australis*, pollution, macrophyte, eau usée, activité catalase.

Abstract

The aim of our research is to study the impact of environmental pollution on "*Phragmites australis*" taken from two different sites: the first site "Maali" (El Hammadia forest) is less polluted (considered as a control), and the second site (the "Dalette" Oued) is subject to severe pollution following discharges of industrial wastewater.

The study conducted aims to evaluate the different responses of *P. australis* to stress. Our results highlight biometric, physiological, biochemical and enzymatic changes in the plant taken from the polluted site compared to that of the control site. These changes result in the presence of a highly developed root system, a reduction in the synthesis of photosynthetic pigments, an increase in protein synthesis and an intensification of Catalase activity following the activation of the detoxification system.

Mots clés : *Phragmites australis*, pollution, macrophyte, eau usée, activité catalase.

المخلص

الهدف من بحثنا هو دراسة تأثير التلوث البيئي على "*Phragmites australis*" المأخوذ من موقعين مختلفين: الموقع الأول "ماعلي" (غابة الحمادية) أقل تلوثاً (يعتبر عنصر تحكم) ، والموقع الثاني (واد "داليت") معرض لتلوث شديد بعد تصريف مياه الصرف الصناعي.

تهدف الدراسة التي أجريت إلى تقييم ردود الفعل المختلفة لـ *P. australis* نتيجة الإجهاد. تسلط نتائجنا الضوء على التغيرات البيومترية والفسولوجية والكيميوحيوية والإنزيمية في النبات المأخوذ من الموقع الملوث مقارنةً بالموقع الشاهد. تؤدي هذه التغييرات إلى وجود نظام جذري عالي التطور ، وانخفاض في تخليق أصباغ التمثيل الضوئي ، وزيادة في تخليق البروتين وتكثيف نشاط الكاتالاز نتيجة لتنشيط نظام إزالة السموم.

الكلمات المفتاحية : *Phragmites australis* ، التلوث ، macrophyte ، مياه الصرف الصحي ، نشاط الكاتالاز.