



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 بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahim B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض 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



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Biologiques

Spécialité : toxicologie

Intitulé :

Etude de l'impact de la pollution environnementale sur une
plante épuratrice : le roseau « *Phragmites australis* »

Présenté par:

DERARDJA Salima

SAIDAT Amina

ZEGRAR Oum hani

Soutenu le 24/06/2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme. BOUSSAHEL Soulef	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mme. MOUMENI Ouisssem	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	Mme. BOUMAIZA Souad	MAA	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous exprimons et témoignons notre reconnaissance à M^{lle} MOUMENI Ouissem qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et la grande patience dont elle a su faire preuve malgré ses charges académiques et professionnelles et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous exprimons nos profonds remerciements aux membres de Jury :

M^{lle} BOUSSAHFEL Soulef d'avoir accepté de présider le jury de soutenance, de juger notre travail. Notre plus sincère gratitude.

M^{me} BOUMAIZA Souad de bien vouloir siéger dans le jury et d'examiner ce mémoire.

Merci à tous les profs qui nous ont enseigné.

Nous tenons à remercier les agents de la protection forestière d'être venus avec nous pour obtenir la plante et pour les précieuses informations qu'ils nous ont fournies.

Merci!!!!!!!!!!!!!!

Dédicaces

A mes parents Mhamed et Khadra, pour leur patience, leur tendresse, leur dévouement, qui ont toujours participé à l'élaboration de ce travail. Qu'il soit pour eux le témoignage de ma chaleureuse et profonde affection.

A mes frères Messaoud, Hamidou.

Et ma grande sœur Djihad qui n'a pas cessé de m'encourager et soutenir.

A mon adorable petite sœur Roua.

A mon neveu Ayham.

A ma nièce adorée Joud.

A mes cousines Asma, Imane, Nihel, Wissal, Amani.

A tous mes amis(es) en particulier Belkïs, Ibtissem, Manel, Loubna, Kenza, Oumaima.

Et à tous les gens que J'aime.

Derardja Salima

Dédicaces

*Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce
travail de recherche*

Je dédie ce mémoire :

À ma très chère mère Nora et à mon très cher père Nacer

Qui n'ont cessé de me combler par leur amour et leur tendresse.

À mes chères sœurs : Roa, Malak et Abrar

À mes beaux frères Aymen et Haroun

Et à tous les membres de ma famille sans exception.

Amina

Dédicaces

Je dédie ce travail

*A celui qui m'a donné la vie et guidé mes pas,
Pour ce qui m'a soutenu et encouragé **Papa**
Je t'offre les fruits de mes efforts.*

*A la lumière de ma vie, à toi mon adorable **Maman**
Que dieu te protège pour partager et vivre
Avec toi tous les heureux moments.*

*A mes chers frères (**Houssem et Fichem**) pour leurs encouragements.
A tous les membres de ma famille sans aucune exception.
A tous ceux qui ont une place dans mon cœur*

Je vous aime

Oum Hani

Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier l'impact de la pollution environnementale sur « *Phragmites australis* ». Nous avons cherché à mettre en évidence les différentes réponses observées chez cette plante, prélevée à partir de trois sites différents : un site moins pollué « la Forêt d'El Hammadia » (considéré comme témoin), et deux autres sites fortement contaminés à savoir : « Oued Zrazria » recevant les eaux usées urbaines des régions de Zrazria et d'El Hammadia et « Oued El k'sob » récepteur d'effluents de différentes origines (urbaines, agricoles et le plus fréquemment industrielles).

Les résultats obtenus révèlent un ensemble de changements biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques chez les plantes collectées des sites pollués par rapport à celles du site témoin. Ces changements se manifestent par un réseau racinaire très important, une perturbation de l'activité photosynthétique, une augmentation de la synthèse protéique ainsi qu'une stimulation de l'activité catalase en raison de l'activation du système de détoxification en réponse au stress environnemental.

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

Abstract

The objective of our work is to study the impact of environmental pollution on "*Phragmites australis*". We sought to highlight the different responses observed in this plant, taken from three different sites: a less polluted site "the Forest of El Hammadia" (considered as a control), and two other highly contaminated sites namely: "Oued Zrazria" receiving urban wastewater from the Zrazria and El Hammadia regions and "Oued El k'sob" receiving effluents from different origins (urban, agricultural and most frequently industrial).

The results obtained reveal a set of biometric, physiological, biochemical and enzymatic changes in plants collected from polluted sites compared to those from the control site. These changes are manifested by a very large root network, a disturbance of photosynthetic activity, an increase in protein synthesis as well as a stimulation of catalase activity due to the activation of the detoxification system in response to environmental stress.

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

الملخص

الهدف من عملنا هو دراسة تأثير التلوث البيئي على "القصب". سعينا إلى تسليط الضوء على الاستجابات المختلفة التي لوحظت في هذا النبات ، المأخوذة من ثلاثة مواقع مختلفة: موقع أقل تلوثاً "غابة الحمادي" (يعتبر عنصر تحكم) ، وموقعان آخران شديد التلوث وهما: "واد الزرازية" يستقبل مياه الصرف الصحي من المناطق الحضرية (الزرازية والحمادية) و "واد القصب" تستقبل مياه الصرف الصحي من مصادر مختلفة (حضرية وزراعية وصناعية في الغالب).

كشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن مجموعة من التغيرات البيومترية والفسولوجية والكيميائية الحيوية والإنزيمية في النباتات التي تم جمعها من المواقع الملوثة مقارنة بتلك الموجودة في الموقع الغير الملوث. تتجلى هذه التغيرات من خلال شبكة جذر كبيرة جداً ، واضطراب في نشاط التمثيل الضوئي ، وزيادة في تخليق البروتين بالإضافة إلى تحفيز نشاط الكاتلاز بسبب تنشيط نظام إزالة السموم استجابة للإجهاد البيئي.

الكلمات المفتاحية: القصب ، التلوث ، النباتات الكبيرة ، مياه الصرف الصحي ، نشاط الكاتلاز.

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

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
1.3. Propriétés biologiques	06
2. Présentation des sites de prélèvement	06
2.1. Localisation géographique du premier site Forêt d'El-Hammadia « Maali »	07
2.2. Localisation géographique du deuxième site «Oued Zrazria ».....	07
2.3. Localisation géographique du troisième site « Oued K'sob »	08
3. Paramètres étudiés	09
3.1. Mesure des paramètres biométriques	10
3.2. Dosage des paramètres physiologiques	10
3.2.1. Dosage des chlorophylles et des pigments caroténoïdes	10
3.3. Dosage des paramètres biochimiques	10
3.3.1. Dosage des protéines totales	10
3.4. Dosage des paramètres enzymatiques	11
3.4.1. Préparation de l'extrait enzymatique	11
3.4.2. Dosage de l'activité Catalase (CAT)	12

Table des matières

5. Etude statistique	12
Chapitre 2 : Résultats	
1. Effet de la pollution environnementale sur les paramètres biométriques chez <i>Phragmites australis</i>	13
1.1. Effet sur le nombre moyen des racines	13
1.2. Effet sur la longueur moyenne des racines	14
2. Effet de la pollution environnementale sur la synthèse des pigments photosynthétiques chez <i>Phragmites australis</i>	15
3. Effet de la pollution environnementale sur le taux de protéines totale chez <i>Phragmites australis</i>	16
4. Effet de la pollution environnementale sur l'activité catalase chez <i>Phragmites australis</i>	17
Chapitre 3 : Discussion	
Discussion	18
Conclusion et perspectives	22
Références bibliographiques	23

Liste des abréviations

ACT : Activité enzymatique

BSA : l'albumine de sérum de bœuf

CaCO₃ : bicarbonate de calcium

CAT : Catalase

Chl : Chlorophylle

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

Liste des tableaux

N°	Titres	Pages
1	Gamme d'étalonnage d'une solution mère de BSA	11
2	Effet de la pollution environnementale sur la teneur en chlorophylles a, b, a+b et en caroténoïdes chez <i>P. australis</i> ($m \pm SD$; n = 3).	15

Liste des figures

N°	Titres	Pages
1	Localisation de la forêt d'El Hammadia « Maali » (Googel Eath, 2023).	07
2	Localisation de « Oued Zrazria » (Googel Earth, 2023)	08
3	Localisaton de « Oued El K'sob » (Google Earth, 2023).	09
4	Le nombre moyen des racines chez <i>P. australis</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).	13
5	longueur moyenne des racines chez <i>P. australis</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).	14
6	Teneurs en protéines totales foliaires et racinaires chez <i>P. australis</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).	16
7	Variation de l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines de <i>P.</i> <i>australis</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).	17

Liste des photos

N°	Titres	Pages
1	Plantes de <i>Phragmites australis</i> présentes dans les trois sites d'étude : témoin (A), pollué 1 et 2 (B et C) (photo personnelle) .	04
2	Le roseau commun <i>Phragmites australis</i> . A. La tige avec les feuilles, B. Développement racinaire et du rhizome (Benameur, 2018) .	05



Introduction

Durant le dernier siècle, l'industrialisation et l'essor des transports ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la société. Ces activités étaient synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. Mais depuis, la prise de conscience quant aux conséquences environnementales n'a cessé de croître. En effet, de grandes quantités de substances chimiques sont relâchées dans l'environnement, la plupart d'entre elles étant considérées comme dangereuses. L'introduction de ces composés implique des risques sérieux non seulement pour l'environnement et les organismes vivants, mais aussi pour la santé humaine (**Miet, 2008**).

L'environnement aquatique n'est certes pas épargné. Les eaux des oueds et souvent même les eaux souterraines reçoivent de nombreux composés organiques et minéraux d'origine naturelle et industrielle, des déchets des activités humaines, ainsi que des effluents toxiques des stations d'épuration (**Zhao et al., 2014**). Ces composés sont considérés comme étant des mélanges complexes de contaminants aux concentrations variables. En effet, dans un mélange de xénobiotiques, même si les teneurs en polluants prises individuellement respectent les seuils réglementaires, la conjugaison de chacun de ces contaminants peut aboutir à une forte écotoxicité pour les organismes vivants les plus sensibles, présents dans le milieu, provoquant alors des dysfonctionnements et des troubles dans leurs fonctions physiologiques (croissance, nutrition, respiration et reproduction) (**Ivanowsky, 2016**).

L'omniprésence et la diversité de la pollution aquatique, ont conduit la communauté scientifique à effectuer des suivis de la qualité environnementale par le dosage régulier des polluants. Il s'agit ainsi d'évaluer le degré de détérioration du milieu sans référence a priori aux impacts biologiques potentiels. L'objectif est de pouvoir déceler rapidement la présence de contamination dans l'environnement avant que celle-ci puisse éventuellement avoir un impact sur la santé publique. Par ailleurs, cette approche nécessite des méthodes d'échantillonnage précises et coûteuses, ainsi que des techniques analytiques sophistiquées souffrant parfois d'une efficacité moindre et d'une limite de détection relativement basse. De plus, le suivi des concentrations en contaminants renseigne sur la charge indifférenciée de la totalité des espèces chimiques présentes dans l'eau et ne renseigne donc pas de manière spécifique sur leurs biodisponibilités environnementale et écotoxicologique ; donnée pourtant primordiale pour comprendre les processus de contamination des écosystèmes. Ainsi, un suivi des concentrations en contaminants au sein des tissus d'organismes ainsi que l'évaluation des perturbations biologiques (comportementales, physiologiques, biochimiques, ... etc.) chez ces derniers apportent une compréhension supplémentaire aux dosages des contaminants dans le milieu extérieur (**Ettajani et al., 2001**).

D'une manière générale, les sites contaminés présentent une flore diversifiée fortement tolérante à des teneurs élevées de substances chimiques. L'étude des capacités de détoxification, d'immobilisation ou d'absorption de ces différents contaminants par ces végétaux résistants dits bio-indicateurs, 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 (**Garrec et Van Haluwyn, 2002 ; Garrec, 2007 ; Ramade, 2007**). Les qualités exceptionnelles des végétaux bioindicateurs et plus précisément des végétaux hyperaccumulateurs pourraient être mises à profit pour compléter la surveillance au droit des rejets, notamment pour ce qui concerne les polluants traces tels que les métaux lourds, les micropolluants organiques, les produits phytosanitaires, etc.... (**AhPeng, 2003**).

A ce jour, un grand nombre de plantes aquatiques sont utilisées comme outils de biosurveillance et d'évaluation de la qualité de l'eau 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. C'est une plante hypertolérante et hyperaccumulatrice, largement utilisée pour purifier les eaux grâce à son développement racinaire étendu et sa capacité à absorber les polluants (**Giudice et Bonanno, 2010 ; Bonanno, 2013**), ce qui en fait un modèle pertinent pour l'évaluation des perturbations environnementales (**Jiang et Wang, 2007 ; Rocha et al., 2014**). Ces plantes macrophytes présentent des réponses multi-facettes en présence de mélanges de polluants qui dépendent des caractéristiques de l'effluent (la concentration en polluants, leur type chimique et les interactions potentielles).

Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif principal d'étudier l'impact de la pollution environnementale sur le roseau « *Phragmites australis* ». Nous avons cherché à mettre en évidence les différentes réponses observées chez cette plante, prélevée à partir de trois sites différents : un site moins pollué « la Forêt d'El Hammadia » (considéré comme témoin), et deux autres sites fortement contaminés à savoir : « Oued Zrazria » recevant les eaux usées urbaines des régions de Zrazria et d'El Hammadia et « Oued El k'sob » récepteur d'effluents de différentes origines (urbaines, agricoles et surtout industrielles).

Ce manuscrit est structuré comme suit :

- Tout d'abord, une introduction générale, présentant un aperçu sur la pollution environnementale et le concept de la biosurveillance des milieux aquatiques.
- Ensuite, une partie expérimentale qui inclut trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une description des sites d'échantillonnage, du matériel végétal et des différentes méthodes utilisés dans notre étude.
 - Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.
 - Le troisième chapitre, est dédié à une discussion détaillée des résultats obtenus.
- Enfin, nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude et nous énoncerons un ensemble de perspectives envisagées pour la continuité de ce travail.



Etude expérimentale



Chapitre 1 :
Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre travail, est la plante macrophyte « *Phragmites australis* » prélevée durant la saison du printemps (16/03/2023) sur trois sites différents : (Figure 1).

- **Le site témoin (T) :** Situé dans la forêt d'El Hammadia « Maali », Bordj Bou Arréridj.
- **Le site pollué (P1) :** Situé à proximité de « l'Oued Zrazria » au sud de la région d'El Hammadia, Bordj Bou Arréridj. Cet oued reçoit les eaux usées urbaines des communes de Zrazria et d'El Hammadia.
- **Le site pollué (P2) :** Situé au voisinage de « Oued El K'sob », localisé entre la wilaya de Bordj Bou Arréridj et la wilaya de M'sila. Cet oued est soumis à une forte pollution principalement issue d'activités industrielles mais également des rejets d'eaux usées urbaines et agricoles.

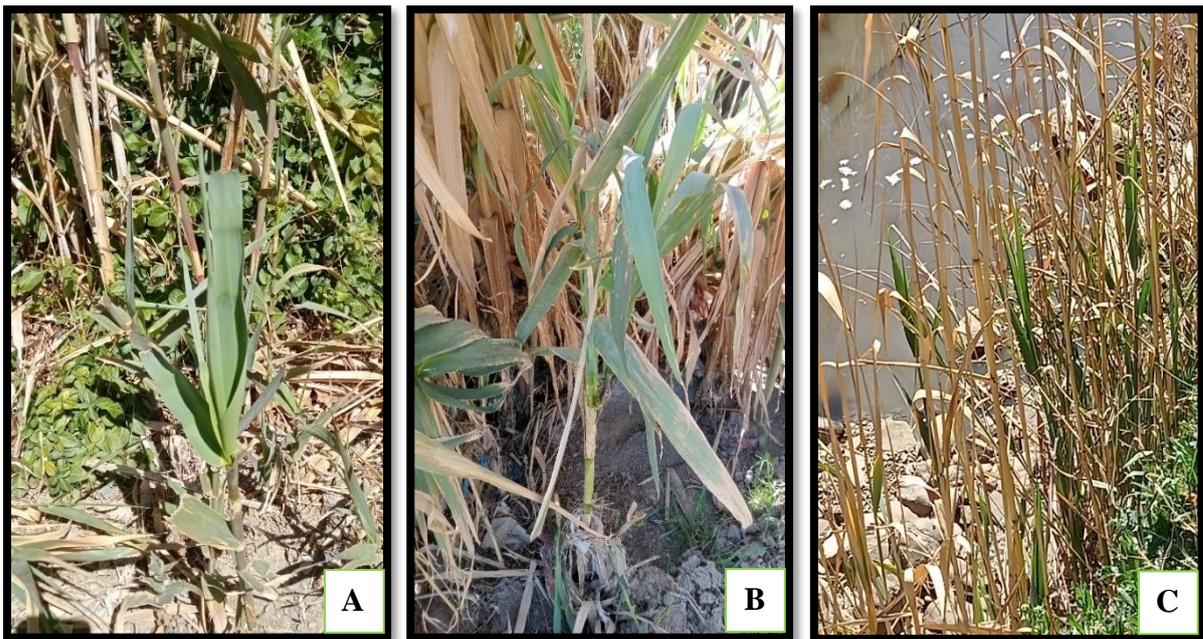


Figure 1: Plantes de *Phragmites australis* présentes dans les trois sites d'étude : témoin (A), pollué 1 et 2 (B et C) (photo personnelle).

1.1. Description de la plante :

Le roseau commun *Phragmites australis* est une plante semi aquatique macrophyte vivace herbacée de la famille des *Gramineae* (*Poaceae*) (Scholz et al., 2001). C'est une espèce hydrophile 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,

2004). Elle est très résistante aux milieux les plus argileux et rocailleux, aux grands écarts de température et s'adapte aisément aux périodes d'inondation et d'assèchement (Fauteux, 2002).

Le roseau est l'une des plantes vasculaires les plus répandues dans le monde (Mal et Narine, 2004 ; Giudice et Bonanno, 2010). C'est une plante à croissance très rapide qui porte des tiges atteignant généralement jusqu'à 5 mètres de hauteur, et 4 à 10 millimètres de diamètre (Figure 2A). Le roseau a la particularité de former un tissu racinaire horizontal et vertical (rhizomes) (Figure 2B) assurant une grande surface de contact entre le sol et les eaux. Ses feuilles sont rubanées lisses de 20 à 70 cm de long et de 1 à 5 cm de large (Figure 2A). Elle se caractérise par une inflorescence dense sous forme d'une grande panicule, souple plumeuse brun-rouge avec des épillets pédicellés étroitement aigüe comprenant de 3 à 7 fleurs. La floraison a lieu entre les mois de juillet et novembre (Vymazal et al., 2007).



Figure 2 : Le roseau commun *Phragmites australis*.

A. La tige avec les feuilles, **B.** Développement racinaire et du rhizome (Benameur, 2018).

1.2. Classification de l'espèce :

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

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

1.3. Propriétés biologiques :

Le roseau est connu par de remarquables propriétés biologiques. Nombreux sont les travaux mettant en évidence la grande efficacité de ce macrophyte contre la pollution des eaux et des sols. En effet, grâce à son système racinaire très développé, cette plante est dotée d'une forte capacité à absorber et à accumuler des quantités importantes de polluants essentiellement les métaux lourds (**Giudice et Bonanno, 2010; Kleche et al., 2013**). Elle présente une forte tolérance au zinc, plomb, fer, cuivre et au cadmium (**Ait Ali et al., 2004**). Ces éléments traces accumulés sont transportés ensuite vers les parties aériennes sous forme cationique liée aux acides organiques et/ou acides gras à courte chaîne aliphatique (fumarique, citrique, oxalique, propionique, butyrique) où sont stockés finalement dans les vacuoles des cellules foliaires (**Windham et al., 2003 ; Kleche et al., 2013**).

L'intense réseau racinaire de cette plante contribue grandement à l'épuration des eaux usées en favorisant la fixation des bactéries épuratrices. En effet, ces racines abritent une flore bactérienne importante, ayant pour rôle la dégradation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par la plante (**Medjdoub, 2014**).

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 dans la forêt domaniale de Ouled - Khelouf, Daira d'El Hammadia à Bordj Bou Arréridj, à une altitude moyenne de 1132 mètres. La superficie de la forêt est de 16015 ha, elle est caractérisée par une couverture végétale moyenne. Elle est limitée au nord par la municipalité d'El-Euch et la commune d'EL-Rabeta, au sud par la wilaya de 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 » (Googel Eath, 2023).

2.2. Localisation géographique du deuxième site d'échantillonnage: « Oued Zrazria »

Le deuxième site d'échantillonnage est « Oued Zrazria » situé dans la commune de Zrazria au sud de la Daïra d'El Hammadia à 8 km au Sud-Ouest du chef-lieu de la wilaya de Bordj Bou Arréridj. La commune de Zrazria est limitée au Nord par la commune de Bordj Bou Arréridj et El Anceur, au Sud par la commune de Rabta, à l'Est par la commune de Belimour et Bordj Ghedir et à l'Ouest par celle de El Ach et El Achir (**Figure 4**). Elle occupe une superficie de 112 km², avec une altitude de 841 m (**Laadel, 2014**).

Le site d'échantillonnage est soumis à une pollution essentiellement urbaine due aux rejets d'eaux usées domestiques des communes avoisinantes (Zrazria et El Hammadia).



Figure 4 : Localisation de « Oued Zrazria » (Google Earth, 2023).

2.3. Localisation géographique du troisième site d'échantillonnage : « Oued El K'sob ».

Le troisième site d'échantillonnage est « Oued El K'sob», qui prend sa source dans les hauts plateaux sétifiens. Ce site est confronté à de graves problèmes de pollution, générés par les rejets urbains, agricoles et industriels (Benkadja et al., 2013). Oued El K'sob est l'un des axes les plus importants de la région de Bordj Bou Arréridj, il est considéré comme un collecteur final de tous les oueds situés au sud de la wilaya (Figure 5) (Sellal, 2014).

L'industrie occupe une place importante dans la région de Bordj Bou Arréridj, elle se positionne surtout en bordure de Oued El K'sob. On dénombre globalement six catégories d'industries dans cette région, qui déversent directement leurs rejets dans l'oued sans aucun traitement préalable (Sellal, 2018) :

- L'industrie électronique avec les complexes spécialisés dans la fabrication et le montage des produits électroniques et électroménagers.
- L'industrie de transformation de papier spécialisée dans la fabrication des produits d'emballages en papier.
- L'activité de textile est représentée par des unités de fabrication des produits de literie.

- L'industrie de transformation de plastique est l'activité majoritaire, spécialisée dans l'injection plastique, la fabrication de sacs d'emballage plastique en polypropylène, la fabrication de film plastique agricole et la production de géotextile.
- L'activité agro-alimentaire spécialisée dans la production de pâtes alimentaires, fabrication de gaz industriel destiné à l'utilisation agroalimentaire, production de boissons gazeuses et enfin les activités de biscuiterie, confiserie et semoulerie.
- La production des matériaux de construction est présente en force par plusieurs unités de production de béton et de bitume, briqueteries et production de carrelage.



Figure 5 : Localisation de « Oued El K'sob » (Google Earth, 2023).

3. Paramètres étudiés

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

3.1. Mesure des paramètres biométriques

Après avoir collecté nos échantillons, nous avons procédé au comptage 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

Nous avons utilisé la méthode établie par **Holden (1975)** pour l'extraction de la chlorophylle et des caroténoïdes. Le dosage se fait comme suit :

- 1g des feuilles de roseaux ont été 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 broyage total, la solution a été 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, 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**) :

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

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

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

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

$$C = 1000 \times \text{DO}_{450} - 1,90 \times \text{Chl a} - 63,14$$

3.3. Dosage des paramètres biochimiques

3.3.1. Dosage des protéines totales :

La méthode utilisée pour le dosage des protéines totales est celle de **Bradford (1976)** qui utilise l'albumine de sérum de bœuf (BSA) comme standard. La gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de BSA à 1 mg/ml (**Tableau 1**).

- 500 mg de matière fraîche (feuilles et racines) ont été broyées dans un mortier avec 5 ml d'eau distillée.
- La solution obtenue a été filtrée à l'aide du papier filtre.
- 2 ml du réactif de Bradford (BBC ou « Bleu Brillant de Comassie ») ont été ajoutés à 200 µl de l'échantillon.
- Après 5 min à l'obscurité, la lecture a été réalisée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm.

Le taux des protéines totales est exprimé en (µg/g de MF). La quantification se fait selon l'équation de la gamme d'étalonnage suivante :

$$y = ax + b$$

Tableau 1 : Gamme d'étalonnage d'une solution mère de BSA.

Tubes	01	02	03	04	05	06	07	08	09
BSA (µl)	08	12	16	20	24	28	32	36	40
Eau distillée (µl)	192	188	184	180	176	172	168	164	160
BBC (ml)	02	02	02	02	02	02	02	02	02

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)**

- 1g de matière fraîche (feuilles et racines) a été broyé à froid dans un mortier avec 5 ml de tampon phosphate (Nak à 50 mM, pH =7,5).
- L'homogénat est ensuite filtré à l'aide de papier filtre avant de procéder à une centrifugation à froid à 12000 g pendant 20 min.
- Le surnageant obtenu est utilisé comme extrait brut pour la détermination de l'activité CAT.

3.4.2. Dosage de l'activité Catalase (CAT)

Le dosage spectrophotométrique de l'activité Catalase (CAT) est réalisé selon la méthode de **Boscoloa et al. (2003)**. La décroissance de la densité optique est enregistrée pendant 1 mn au spectrophotomètre pour une longueur d'onde de 240 nm et un coefficient d'extinction linéique molaire $\epsilon = 39400 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ L}$. Le mélange réactionnel contient 100 μl de l'extrait enzymatique brut, 50 μl de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 0,3% et 2800 μl de tampon Nak (50 mM, 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 :

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

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

ϵ : Coefficient d'extinction linéique molaire en M.

ΔA : Différence moyenne de l'absorbance.

Vt : Volume total du mélange réactionnel en ml.

Ve : Volume de l'extrait enzymatique en ml.

L : Largeur de la cuve de mesure en cm.

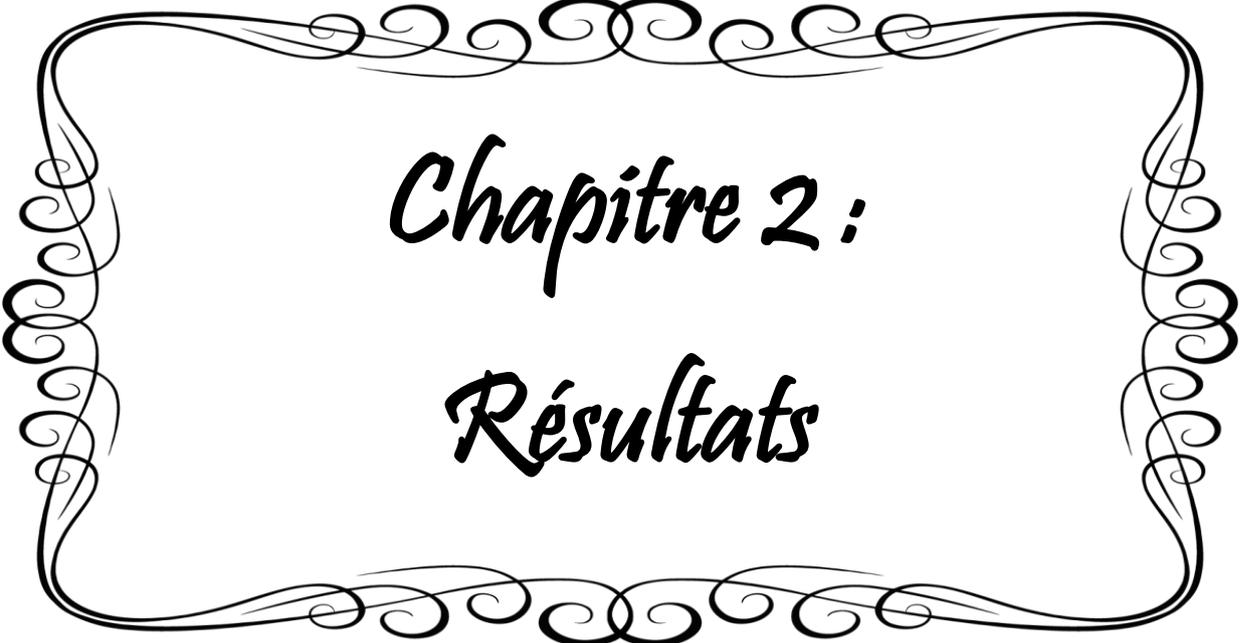
p : Teneur en protéine en mg/g.

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 ($n=3$). Afin de déterminer les différences entre les trois sites, 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 (6)** représente le nombre moyen des racines enregistrés chez *P. australis* prélevée des trois sites : témoin (T) et pollués (P1) et (P2).

Les résultats obtenus montrent que le NMR est plus élevé dans les sites pollués (P1) et (P2) par rapport au site témoin (T). Les valeurs les plus élevées, sont enregistrées dans le site pollué (P2) où nous notons un nombre moyen de l'ordre de 13,5 racines. Au niveau du site P2, le NMR atteint environ 10 racines, alors qu'il n'est que de 6 racines pour le site témoin.

L'analyse de la variance à un critère de classification révèle l'existence d'une différence hautement significative entre les trois sites de prélèvement ($p = 0,002$).

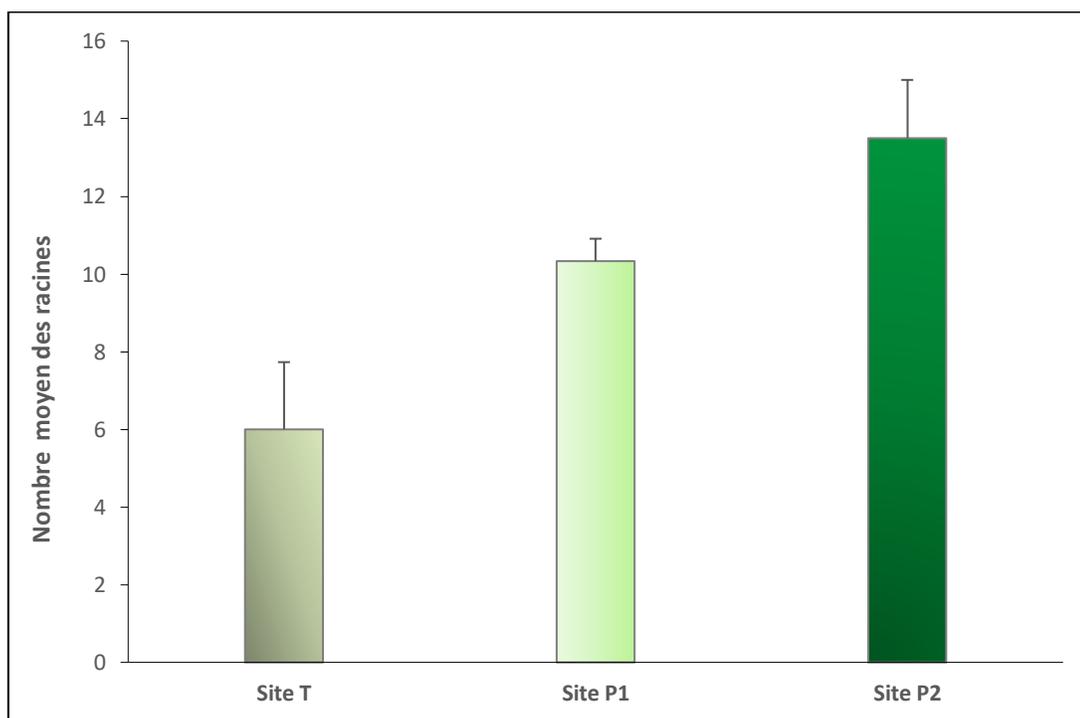


Figure 6 : Le nombre moyen des racines chez *P. australis* prélevée des deux sites ($m \pm SD ; n=3$).

1.2. Effet sur la longueur moyenne des racines :

La **figure (7)** 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 chez les plantes prélevées des sites pollués (P1) et (P2) comparativement à celles du site témoin (T). En effet, la LMR varie de 14,66 cm pour les plantes du site P1 à 24 cm pour celles du site P2, alors qu'elle n'atteint que 4 cm chez les plantes prélevées du site témoin.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre l'existence d'une différence très hautement significative entre les trois sites d'échantillonnage ($p = 0,000$).

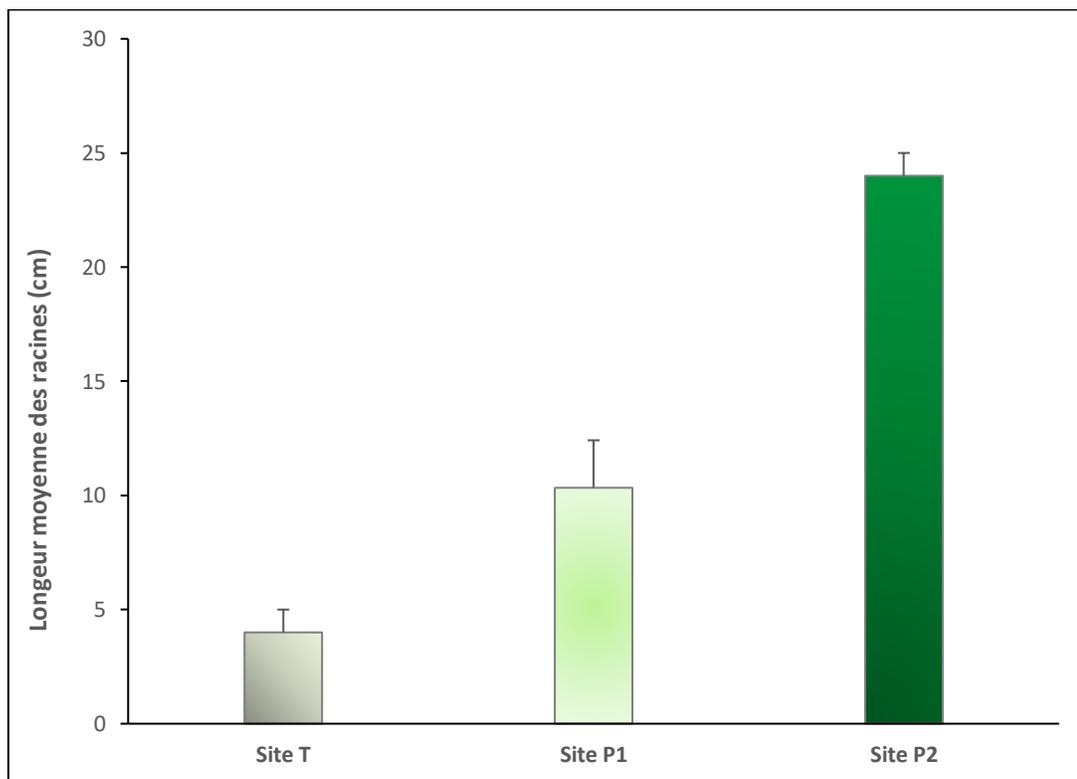


Figure 7 : Longueur moyenne des racines chez *P. australis* prélevée des trois sites ($m \pm SD ; n = 3$).

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

Le **tableau (2)** 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 obtenues, indiquent que les teneurs en chlorophylle a, b, a+b et en caroténoïdes dans les sites P1 et P2 sont inférieures à celles du site T. Les valeurs les plus basses ont été enregistrées dans le site P2. En effet, la teneur moyenne en chlorophylle a est seulement de 2,42 et 0,687 mg/g MF chez les plantes des sites pollués (P1) et (P2), respectivement, alors qu'elle atteint environ 8,17 mg/g MF chez celles témoins. Concernant la teneur en chlorophylle b, elle passe d'une moyenne de 8,38 mg/g MF chez les plantes témoins à environ 5 mg/g MF chez celles du site (P1) pour atteindre seulement 3 mg/g MF pour les plantes du site (P2). La teneur en chlorophylle a+b, quant à elle, passe d'une valeur de l'ordre de 16,54 mg/g/MF pour le site T, à des valeurs de l'ordre de 7,38 et 3,34 mg/g MF pour les sites (P1) et (P2), respectivement. Parallèlement, la teneur en caroténoïdes enregistrée chez les plantes prélevées des deux sites (P1) et (P2) sont respectivement d'environ 3,03 et 2,29 mg/g MF, par rapport à celle des plantes prélevées du site T qui atteint environ 5,14 mg/g MF.

L'analyse de la variance à un critère de classification nous a permis de mettre en évidence la présence de différences très hautement significatives ($p = 0,000$) entre les trois sites, pour la chlorophylle a, b, a+b et les caroténoïdes.

Tableau 2 : Effet de la pollution environnementale sur la teneur en chlorophylles a, b, a+b et en caroténoïdes chez *P. australis* ($m \pm SD$; $n = 3$).

Paramètre Site	Chlorophylle a (mg/g MF)	Chlorophylle b (mg/g MF)	Chlorophylle a+b (mg/g MF)	Caroténoïdes (mg/g MF)
Site Témoin	8,167 \pm 0,841	8,382 \pm 0,654	16,549 \pm 1,496	5,138 \pm 0,514
Site Pollué 1	2,421 \pm 0,316	4,959 \pm 0,247	7,381 \pm 0,543	3,032 \pm 0,034
Site Pollué 2	0,687 \pm 0,091	2,660 \pm 0,274	3,348 \pm 0,203	2,296 \pm 0,149

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 (8)**.

Nos résultats montrent que les valeurs enregistrées au niveau des sites pollués (P1) et (P2) sont plus élevées que celles enregistrées dans le site (T). En effet, au niveau foliaire, la teneur en protéines totales passe d'environ 5,9 $\mu\text{g/g}$ de MF chez les plantes prélevées du site T à presque 6,2 $\mu\text{g/g}$ de MF pour les plantes prélevées du site (P1), pour atteindre son maximum qui est de l'ordre de 8,14 $\mu\text{g/g}$ de MF chez celles prélevées du site (P2). Pareillement, le taux de protéines totales au niveau racinaire passe d'une moyenne d'environ 6,6 $\mu\text{g/g}$ de MF chez les plantes du site T à presque 7 $\mu\text{g/g}$ de MF chez celles du site P1, pour atteindre approximativement 9,2 $\mu\text{g/g}$ de MF au niveau du site P2.

L'analyse de la variance à un critère de classification indique l'existence d'une différence hautement significative ($P = 0,032$) au niveau foliaire et très hautement significative ($P = 0,000$) au niveau racinaire entre les trois sites étudiés.

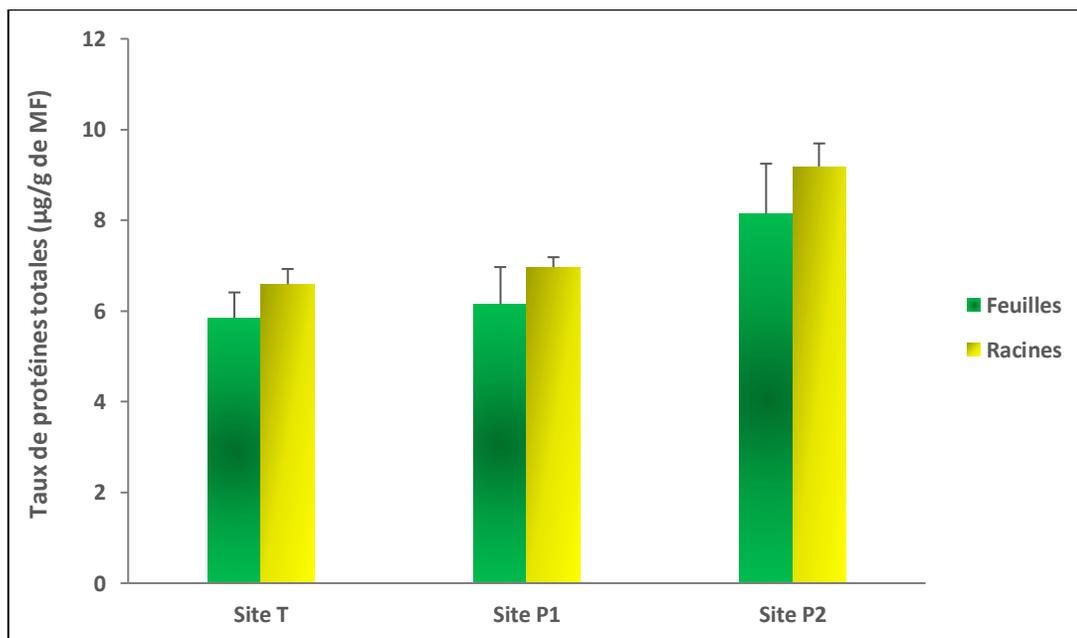


Figure 8 : Teneurs en protéines totales foliaires et racinaires chez *P. australis* prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).

4. Influence du stress environnemental sur l'activité catalase chez *Phragmites australis* :

La **figure (9)** représente la variation de l'activité catalase foliaire et racinaire chez *P. australis* prélevée des trois sites.

Les résultats obtenus mettent en évidence une intensification de l'activité CAT racinaire et foliaire dans les sites (P1) et (P2) par rapport au site T. Ainsi, l'activité catalase racinaire passe de d'environ 0,3 nmol/min/mg de protéines chez *P. australis* prélevée du site T à 0,95 et 1,21 nmol/min/mg de protéines chez celle prélevée des sites pollués (P1) et (P2), respectivement. La même tendance est marquée pour l'activité CAT foliaire, qui passe d'environ 0,2 nmol/min/mg de protéines chez les plantes du site T à environ 0,6 nmol/min/mg de protéines chez celles du site (P1) pour atteindre environ 0,7 nmol/min/mg de protéines pour le site (P2).

L'analyse de la variance à un critère de classification montre l'existence d'une différence très hautement significative ($P = 0,000$) au niveau foliaire et racinaire entre les trois sites d'échantillonnage.

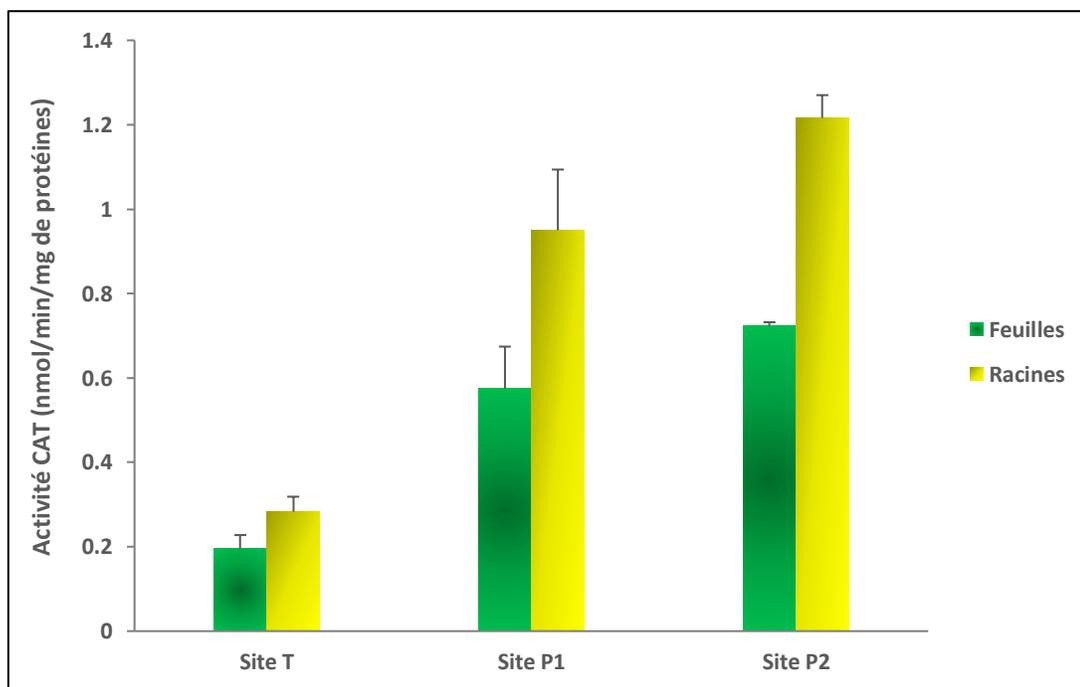


Figure 9 : Variation de l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines de *P. australis* prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).



Chapitre 3:
Discussion

De nos jours, l'eau, l'une des ressources les plus importantes pour la vie humaine, est constamment soumise à de multiples pressions exercées par les activités anthropiques, générant des dommages pour l'homme et pour son environnement (la faune et la flore) (Mohan *et al.*, 2011). La composition chimique des eaux et des sédiments peut grandement affecter la nature, la diversité et la répartition des organismes vivants y compris les plantes aquatiques, notamment celles épuratrices, qui se nourrissent souvent à partir de ces deux compartiments abiotiques de l'écosystème. Cette influence peut avoir un effet négatif sur le développement végétal en cas de présence de pollutions organiques et/ou chimiques sévères (Biteur, 2012).

Les plantes sont dotées d'un système de défense antioxydant très complexe faisant appel à des espèces enzymatiques et non-enzymatiques. Ces derniers sont utilisés en tant que biomarqueurs du stress. Elles sont considérées comme outils prometteurs de bio surveillance mis en œuvre pour établir un diagnostic d'une perturbation environnementale. Leurs usages et leur intérêt, notamment dans la mesure de la contamination sont devenus critiques (Bedouh, 2014). Les plantes sont exposées à de grands changements de leur environnement. Pour faire face, elles possèdent une forte capacité d'adaptation. Lorsque ces changements sont trop brutaux, ils peuvent conduire à l'apparition d'un stress oxydatif caractérisé par la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Mittler, 2002). Celles-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).

Plusieurs recherches se sont orientés vers l'étude des réponses des macrophytes face à un stress environnemental (Souiki, 2008 ; Semadi, 2010 ; Kleche, 2013 et Derradji, 2015). Les résultats de ces recherches ont révélé que la présence de concentrations élevées en polluants, la sécheresse, la salinité et les basses températures, sont des conditions qui altèrent la croissance et le rendement des plantes. Elles sont capables de perturber certains systèmes enzymatiques et également les activités métaboliques et physiologiques des plantes.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressés dans ce travail, à élucider les effets de la pollution environnementale sur un macrophyte aquatique épurateur et tolérant au stress « *Phragmites australis* ». Pour cela, nous avons procédé à la mesure de différents paramètres biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques chez cette plante prélevée de deux sites connus pour être fortement pollués de la wilaya de Bordj Bou Arréridj.

Les résultats obtenus dans cette étude confirment les observations déjà rapportées par plusieurs travaux (**Souiki, 2008 ; Semadi, 2010 ; Kleche, 2013**), sur la réponse des plantes épuratrices *Phragmites australis* face au stress oxydant causé par la présence de différents polluants dans le milieu.

Pour confirmer le pouvoir de *Phragmites australis* à survivre, face à la pollution du milieu, nous nous sommes intéressées dans un premier temps, à étudier les paramètres biométriques. Les résultats obtenus ont révélé la présence d'un système racinaire large, dense et très développé dans les sites pollués par rapport au site témoin. Selon **Pilon-Smits (2005)**, les plantes envisagées épuratrices, ont une croissance rapide, et un réseau racinaire très développé pour permettre une extraction optimale et une accumulation d'importantes concentrations de polluants dans leurs tissus. Grace à leurs racines développées, elles explorent une plus vaste zone des sols pollués (**Abhilash et al., 2009**). 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).

Les teneurs en chlorophylles et en caroténoïdes, sont des paramètres sensibles, indicateurs d'un éventuel stress, car considérés comme de bons biomarqueurs de la toxicité chez les végétaux dans le cadre de la pollution environnementale (**Dewez et al., 2007**). Pour cela, nous nous sommes intéressés, dans un second temps à l'étude des effets de la pollution sur la teneur en pigments photosynthétiques (chlorophylles et caroténoïdes) chez *P. australis*.

Les résultats obtenus ont démontré, que les teneurs en chl a, chl b, chl a+b et caroténoïdes sont plus faibles dans les sites pollués comparativement au site témoin ce qui indique une perturbation de l'activité photosynthétique. Nos résultats, concordent avec ceux de **Tlidjen et al. (2012)**, qui ont également noté 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 résulte probablement de l'inhibition des enzymes responsables de la biosynthèse de ces pigments (**Mysliwa-Kurdziel et al., 2002**). Selon **Percival et Sheriffs (2002) ; Li et al. (2006)**, lorsque la plante est soumise à un stress, elle subit une diminution des niveaux de chlorophylles, provoquant par conséquent un ralentissement de l'activité photosynthétique. Le stress induit par la pollution peut également provoquer une diminution des taux d'assimilation du CO₂ ce qui se traduit par des perturbations dans le processus de la photosynthèse ainsi que la dégradation de la chlorophylle ; 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**).

En ce qui concerne les caroténoïdes, **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 à l'instar des caroténoïdes.

Nous nous sommes orientés ensuite vers l'étude des paramètres biochimiques à travers la mesure des teneurs en protéines totales au niveau des racines et des feuilles de *P. australis*. Les résultats obtenus montrent une augmentation de la synthèse protéique chez les plantes des sites pollués comparativement à celles du site témoin. 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. 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. **Boumedris (2014)**, quant à lui, considère l'augmentation de la teneur en protéines comme étant une stratégie moléculaire de tolérance au stress causé par la génération de ROS. 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.

Il est à noter que l'augmentation des protéines enregistrée dans notre travail est plus accentuée et plus significative au niveau des racines. Ceci pourrait être lié au fait que les racines sont les premiers organes à être en contact avec les polluants, et par conséquent ces derniers s'accumulent dans les racines à des concentrations beaucoup plus élevées qu'au niveau des feuilles (**Alayat, 2015**). Selon **Derradji (2015)** les eaux usées stimulent la synthèse des protéines notamment au niveau des racines puisque celles-ci présentent le siège de résistance de la plante aux différents stress. Elles sont rattachées au sédiment où elles sont exposées à des concentrations élevées de polluants ce qui augmente l'intensité du stress à ce niveau.

Enfin, nous avons jugé utile de compléter notre recherche par le dosage de l'activité catalase, une enzyme majoritairement peroxysomale intervenant dans la détoxification en catalysant la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène en molécule d'eau et d'oxygène. Nos résultats montrent une stimulation de l'activité enzymatique dans les échantillons prélevés des sites pollués, comparativement à ceux du site témoin et ce au niveau des deux compartiments de la plante (racines et feuilles). Ces résultats pourront être expliqués par le déclenchement du système de détoxification, qui permet une tolérance et une adaptation aux stress se traduisant ainsi par une augmentation de cet enzyme, qui régule les concentrations des

ROS au niveau des cellules (**Lin et Kao, 2000**). Des résultats similaires ont été également rapportés par **Derradji (2015)** qui ont démontré une stimulation de l'activité CAT chez *Phragmites australis* soumise au stress induit par les eaux usées domestiques. Les études de **Yang et Poovaiah (2002)** indiquent que l'augmentation de l'activité catalase, est étroitement liée à l'augmentation de la concentration intracellulaire, du peroxyde d'hydrogène et du Ca^{2+} . 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 Ca^{2+} /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 est probablement dû, comme nous l'avons précédemment expliqué à la présence des racines en contact constant et direct avec les eaux chargées de polluants ce qui se traduit par une activité enzymatique plus intense en réponse au stress (**Hegedus et al., 2001**).



Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le but de cette étude est l'évaluation de l'impact de la pollution environnementale sur la plante aquatique épuratrice « *Phragmites australis* ». Nous avons cherché à comprendre les mécanismes d'adaptation de cette plante face aux conditions défavorables de son milieu en s'intéressant au suivi des différentes réponses : biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques.

D'après les résultats obtenus, nous notons d'une part, un réseau racinaire dense et très développé chez les plantes prélevées des deux sites pollués (Zrazria et Oued k'sob) par rapport au site témoin. Ces racines permettent d'absorber et d'accumuler des quantités de plus en plus importantes de polluants. D'autre part, nos résultats montrent une diminution de la synthèse des pigments photosynthétiques, tel que : chlorophylles a, b, a+b et en caroténoïdes au niveau des sites pollués.

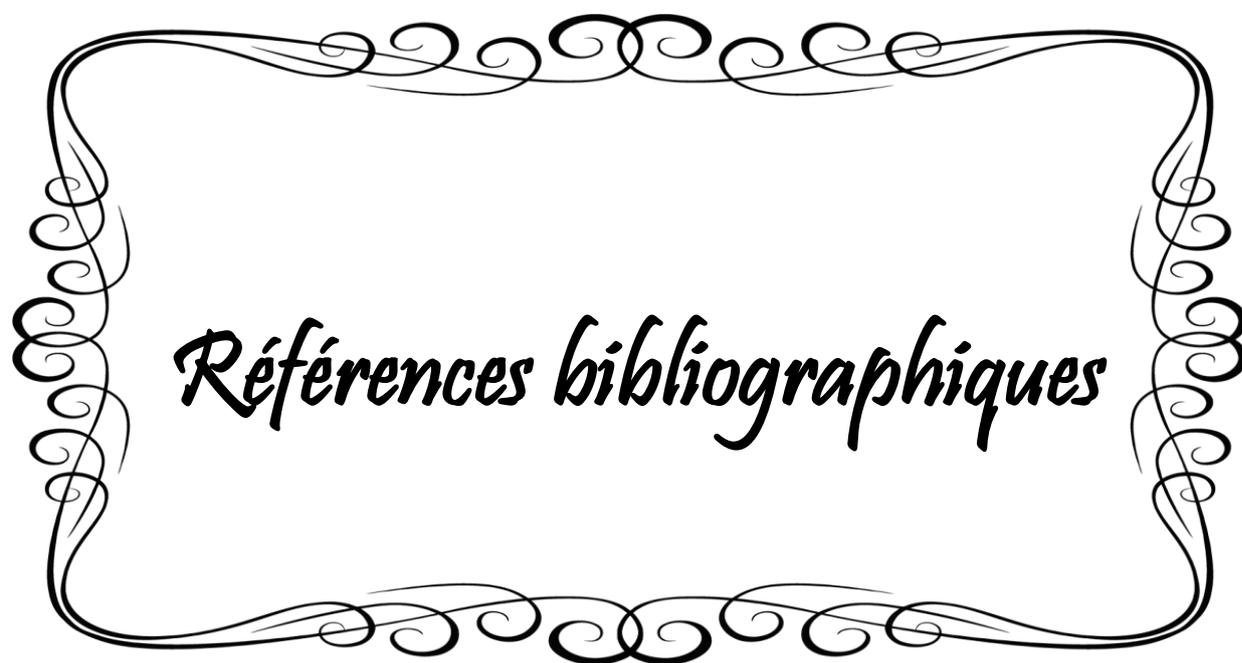
Sur le plan biochimique, les résultats obtenus révèlent une augmentation importante de la synthèse protéique au niveau des feuilles et des racines, due à une activation du système de détoxification.

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

Au terme de ce travail, nous pouvons conclure que le roseau « *Phragmites australis* » est un excellent bio-indicateur qui reflète parfaitement la qualité de son milieu, et pourrait être efficacement utilisé pour la surveillance et l'évaluation des risques de la pollution aquatique.

En perspectives, il serait intéressant de :

- Réaliser une analyse des eaux des sites pollués pour caractériser la nature des polluants rejetés.
- Utiliser cette plante pour l'épuration des eaux usées en procédant à l'installation d'un système de filtration planté.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abhilash, P.C., Pandey, V.C., Srivastava, P., Rakesh, P.S., Chandran, S., Singh, N. and Thomas, A.P. 2009.** Phytofiltration of cadmium from water by *Limnocharis flava* (L.) Buchenau grown
- Ah-Peng C., 2003.** Mise au point d'un outil diagnostic basé sur l'utilisation de la mousse aquatique *Fontinalis antipyretica* Hedw. en culture pour l'estimation de la qualité des cours d'eau. Université Lille 2, Diplôme de Recherches Technologiques, 179 p.
- Ait Ali N, Bernal MP, Ater M (2004).** Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. *Aquatic Botany*. **80**, 163- 176.
- Alayat, A. 2015.** Etude de l'impact toxicologique de certains agents chimiques sur la qualité des céréales: « Cas du blé et de l'orge ». Thèse de doctorat obtenue à l'Université de Badji Mokhtar –Annaba, pp 266.
- 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.
- 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, 128 p.
- 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.
- Benkadja R, Benhadouga M, Benkadja A (2013).** Quantification des matières en suspension et valorisation des sédiments de dragage à l'échelle d'un bassin semi-aride : Cas du barrage du K'sob (Algérie). *Bull Eng Geol Environ*. **72**, 523-531.
- Biteur, N. (2018).** Essais d'utilisation du radis (*Raphanus sativus*) dans la phytoremédiation (biodépollution) au niveau du sol contaminé par les métaux lourds (plomb) : Etude du stress oxydatif et quelques paramètres enzymatiques. Thèse de doctorat, Université d'Orane, 110 p.
- Bonnanno G (2013).** Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. *Ecotoxicology and Environmental safety*. **97**, 124-130.
- 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.

Références bibliographiques

- 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 the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, **72**: 248-254. Cellulaire et subcellulaire. Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 136p.
- Chagra A, 2010.** Effets du cadmium et des traitements combinés Cd/Ca⁺ à l'échelle
- 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.
- Dewez D., Geoffroy L., Vernet G., Popovic R., 2005.** Determination of photosynthetic and enzymatic biomarkers sensitivity used to evaluate toxic effects of copper and fludioxonil in alga *Scenedesmus obliquus*. Aquat. Toxicol. **74**, 150–159.
- Ettajani, H., Berthet, B., Amiard, J.C., Chevot, L., 2001.** Determination of Cadmium Partitioning in Microalgae and Oysters: Contribution to the Assessment of Trophic Transfer. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **40**, 209–221.
- Faucteux A, 2002.** Des roseaux contre les eaux usées. Revue de la science au Québec. Nouvelle édition, 220 p.
- Garrec JP, Van Haluwyn C., 2002.** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Paris Edition Tec & Doc. 118 p
- 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. In free-floating culture system. J. Hazard. Mater, **170** 791–797.
- 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.
- Klech 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.

Références bibliographiques

- Lin, C.C. and C.H. Kao. 2000.** Effect of NaCl stress on H₂O₂ métabolisme in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 30: 151-155.
- 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.
- Medjoub Y. (2014).** Bio-écologie de la cochenille noire *Parlatoria ziziphi* (Homoptera, Diaspididae) sur les agrumes dans la station d'El Fhoul à Tlemcen. Mémoire de Master 2. Université d'Abou-Bekrbelkaid, Tlemcen, Algérie.
- Miet, K.,** Etude expérimentale de la dégradation hétérogène des Composés Aromatiques Polycycliques (CAP) d'intérêt Troposphérique. Thèse de Doctorat en Chimie Analytique et Environnement. Université Bordeaux I, (2008).
- Mittler, R. 2002.** Oxydative stress, antioxydants and stress tolerance. *Trends Plant Sciences*, 7: 405-410.
- Mohan D, Rajput S, Singh VK, Steele PH, Pittman Jr CU (2011).** Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*. 188, 319-333.
- 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.
- Percival, G.C. & Sheriffs, C.N. (2002).** Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture*, 28: 215-223.
- Pilon-Smits, E. 2005.** Phytoremediation. *Annual Review Plant Biology*, 56: 15–39.
- Ramade F., 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Paris : Lavoisier. 618p
- Ramade, F., 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Tec&Doc, France.
- Rocha ACS, Almeida CMR, Basto MCP, Vasconcelos MTSD., 2014.** Antioxidant response of *Phragmites australis*. to Cu and Cd contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 109, 152-160.
- Schloz M., and Xu J, 2001.** Performance comparison of experimental constructed wetlands with different filter media and macrophytes treating industrial wastewater contaminated with lead and copper. *Bioresource Technology* 83, 71-79.

Références bibliographiques

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.

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, Svehla 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.

Windham L, Weis JS, Weis P (2003). Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, *Spartina alterniflora* (cordgrass) and *Phragmites australis* (common reed).

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

Zhao, C., J. Xu, Q. Li, S. Li, P. Wang, F. Xiang, 2014. Cloning and Characterization of a *Phragmites australis* Phytochelatin Synthase (PaPCS) and Achieving Cd Tolerance in Tall Fescue. Plos one. **9**, 1-10.

Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier l'impact de la pollution environnementale sur « *Phragmites australis* ». Nous avons cherché à mettre en évidence les différentes réponses observées chez cette plante, prélevée à partir de trois sites différents : un site moins pollué « la Forêt d'El Hammadia » (considéré comme témoin), et deux autres sites fortement contaminés à savoir : « Oued Zrazria » recevant les eaux usées urbaines des régions de Zrazria et d'El Hammadia et « Oued El k'sob » récepteur d'effluents de différentes origines (urbaines, agricoles et le plus fréquemment industrielles).

Les résultats obtenus révèlent un ensemble de changements biométriques, physiologiques, biochimiques et enzymatiques chez les plantes collectées des sites pollués par rapport à celles du site témoin. Ces changements se manifestent par un réseau racinaire très important, une perturbation de l'activité photosynthétique, une augmentation de la synthèse protéique ainsi qu'une stimulation de l'activité catalase en raison de l'activation du système de détoxification en réponse au stress environnemental.

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

Abstract

The objective of our work is to study the impact of environmental pollution on "*Phragmites australis*". We sought to highlight the different responses observed in this plant, taken from three different sites: a less polluted site "the Forest of El Hammadia" (considered as a control), and two other highly contaminated sites namely: "Oued Zrazria" receiving urban wastewater from the Zrazria and El Hammadia regions and "Oued El k'sob" receiving effluents from different origins (urban, agricultural and most frequently industrial).

The results obtained reveal a set of biometric, physiological, biochemical and enzymatic changes in plants collected from polluted sites compared to those from the control site. These changes are manifested by a very large root network, a disturbance of photosynthetic activity, an increase in protein synthesis as well as a stimulation of catalase activity due to the activation of the detoxification system in response to environmental stress.

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

المخلص

الهدف من عملنا هو دراسة تأثير التلوث البيئي على "القصب". سعينا إلى تسليط الضوء على الاستجابات المختلفة التي لوحظت في هذا النبات، المأخوذة من ثلاثة مواقع مختلفة: موقع أقل تلوثاً "غابة الحمادي" (يعتبر عنصر تحكم) ، وموقعان آخران شديد التلوث وهما: "واد الزرازرية" يستقبل مياه الصرف الصحي من المناطق الحضرية (الزرازرية والحمادية) و "واد القصب" تستقبل مياه الصرف الصحي من مصادر مختلفة (حضرية وزراعية وصناعية في الغالب).

كشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن مجموعة من التغيرات البيومترية والفسولوجية والكيميائية الحيوية والإنزيمية في النباتات التي تم جمعها من المواقع الملوثة مقارنة بتلك الموجودة في الموقع الغير الملوث. تتجلى هذه التغييرات من خلال شبكة جذر كبيرة جداً ، واضطراب في نشاط التمثيل الضوئي ، وزيادة في تخليق البروتين بالإضافة إلى تحفيز نشاط الكاتلاز بسبب تنشيط نظام إزالة السموم استجابة للإجهاد البيئي.

الكلمات المفتاحية: القصب ، التلوث ، النباتات الكبيرة ، مياه الصرف الصحي ، نشاط الكاتلاز