



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 Biologique

Spécialité : Toxicologie

Intitulé :

Réponses du macrophyte aquatique « *Typha latifolia* » à la
pollution environnementale .

Présenté par:

DEBBICHE Mebarka

MERABET Manel

YATTOU Nestrine

Soutenu le 25 / 06 / 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mr. MEZDOUR Hichem	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mme. MOUMENI Ouissem	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	Mme. BENRADIA Hamida	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

En premier, nous remercions le bon dieu, tout puissant, de nous avoir donné la santé, le courage et la patience pour être ce que nous sommes aujourd'hui et pour mener à terme ce modeste travail.

Nous remercions notre encadreur M^{lle} MOUMENI Ouissem pour tous les conseils et orientations prodigues tout au long de la période de réalisation du mémoire et pour tous les efforts déployés et pour le bon traitement

Nous vous remercions infiniment docteur pour le temps que vous nous avez accordé.

Nous tenons à remercier Mr MEZDOUR Hichem pour avoir accepté de présider ce jury et d'évaluer ce modeste travail.

Nous remercions vivement M^{me} BENRADIA Hamida pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions Mr ZORAI Ali doctorant au département des « Sciences Agronomiques » pour nous avoir fourni les subventions concernant la plante étudiée.

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.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

A MAMAN CHERIE CHEKAB Louiza

A la lumière qui éclaire mon chemin et à la lampe dont la lumière ne s'éteint jamais. A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour, à celle qui m'a bénie par ces prières.

A mon très cher père DEBBICHE Farhiet

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

A mon petit frère DEBBICHE Aymen

Je voulais juste te dire merci pour tout ton soutien. Tu as été un pilier pour moi et je suis tellement reconnaissante de t'avoir à mes côtés.

A MA CHERE TANTE DEBBICHE Fouzia

La personne qui n'a jamais cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

A mes grands-parents, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines. Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A TOUTE MA FAMILLE

Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Je vous dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que vous m'offrez quotidiennement. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

A MES CHERES AMIES

Nesrine, Nabila, Amira, Sirine, Rayane, Nesrine, Manel, Chaima, Nihad, et Najat Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A MON TRINOME YATTO Nesrine & MERABET Manel

Pour votre soutien moral, votre patience et votre compréhension tout au long de ce projet.

MEBARKA.

Dédicaces

*A l'homme que Dieu m'a offert : mon cher père : **MERABET** Abd erahmen*

A qui je dois ma vie, que j'aime beaucoup, je lui dédie ma réussite, pour son soutien tout au long de ce projet

Je le remercie pour sa confiance.

A la femme qui a souffert sans me laisse souffrir, qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse. Aucune dédicace ne saurait exprimer tout le respect et l'amour que lui te donne.

Reçois ceci en guise de ma reconnaissance et que Dieu te garde longtemps afin que tu puisses goûter aux arbres que tu as planté.

*Mon adorable mère : **SENOUNI** Haddah*

A mes chers frères Mohamed, Khalil, Salah edine qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.

A tout ma famille.

A mes précieuses amies qui sont toujours avec moi : Ahlem, Manel, Ahlem, Amira, Sabra, Rayane, Nadjet, chaima pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

Sans oublier mon trinôme Nesrine et Mebaraka pour leur soutien moral, leur patience et leur compréhension tout au long de ce projet.

Manel

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mon oncle, que dieu lui fasse miséricorde, « Hadj Mebarak Ahmed » et à mes grands-parents.

A ma Mère qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

*A mon père « Mebarak » qui a toujours été à mes côtés et m'a guidé vers le droit chemin
A mes frères « Zine ddine » et « Nacer Eddine » qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

A ma nièce adorée « Mirale Rouaa ».

A ma chère et meilleure amie « Zitouni Sihem » pour son soutien moral dans les moments difficiles.

A tous membres de la famille { Yattou et Hadj mebarak }. Mes proches {Ghania / Nesrine / Nihad} et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A mes amies et mes sœurs { Rayane / Nadjat / Chaima } qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

En fin je remercie mon trinôme « Merabet Manel / Debbiche Mebaraka » pour tous leurs efforts lors de la réalisation de notre mémoire.

Nesrine

Résumé

L'objectif de cette recherche est d'évaluer la qualité des eaux des oueds de la wilaya de Bordj Bou Arréridj et d'étudier l'impact de la pollution hydrique sur le macrophyte « *Typha latifolia* ». Afin de réaliser ce travail, nous avons procédé à un échantillonnage de cette plante sur trois sites différents de la wilaya, présentant des degrés et des origines de pollution très variés : La « Forêt Maali » d'El Hammadia considéré comme un site témoin, et les oueds « Elk'sob » et « Bouselam » sujets à une très forte pollution ayant pour origine diverses activités humaines (les usages domestiques, les pratiques agricoles et essentiellement les procédés industriels).

Nos résultats mettent en évidence des modifications importantes au niveau biométrique, physiologique, biochimique et enzymatique chez les plantes prélevées des deux sites pollués comparativement à celles du site témoin. En effet, nous avons noté un développement racinaire plus important, une diminution de la l'activité photosynthétique, une augmentation des teneurs en protéines, ainsi qu'une stimulation de l'activité catalase en réponse au stress environnemental.

Mots clés : *Typha latifolia*, macrophyte, biosurveillance, pollution, eau usée.

Abstract

The objective of this research is to evaluate of the water quality of the wadis of the wilaya of Bordj Bou Arréridj and to study the impact of water pollution on the macrophyte "*Typha latifolia*". In order to carry out this work, we proceeded to a sampling of this plant on three different sites of the wilaya, presenting very varied degrees and origins of pollution: The Maali Forest of El Hammadia considered as a control site, and the "ouedk'sob" and "oued Bousselam" wadis subject to very heavy pollution originating from various human activities (domestic uses, agricultural practices and mainly industrial processes).

Our results highlight significant changes at the biometric, physiological, biochemical and enzymatic level in plants sampled from the two polluted sites compared to those from the control site. Indeed, we noted a greater root development, a decrease in photosynthetic activity, an increase in protein levels, as well as a stimulation of catalase activity in response to environmental stress.

Keywords: *Typhalatifolia*, pollution, macrophyte, wastewater, bioservailance.

الملخص

الهدف من هذا البحث هو المساهمة في تقييم جودة المياه في أودية ولاية برج بوعرييج ودراسة تأثير تلوث المياه على النبات "البوط عريض الاوراق". من أجل تنفيذ هذا العمل ، شرعنا في أخذ عينات من هذا النبات في ثلاثة مواقع مختلفة بالولاية ، تختلف باختلاف مصادر و درجات التلوث : يعتبر الموقع الاول كشاهد و هي " غابة معالي" بلدية الحمادية اما بالنسبة للموقعين الثاني و الثالث " واد قصب" و "واد بوسلام" يعتبران اكثر عرضة للتلوث الشديد الناجم عن الانشطة البشرية المختلفة (الاستخدامات المنزلية، الانشطة الزراعية و العمليات الصناعية بشكل اساسي).

تسلط نتائجا الضوء على التغيرات المهمة على مستوى القياسات الحيوية والفسيلوجية والكيميائية الحيوية والإنزيمية في النباتات المأخوذة من الموقعين الملوئين مقارنة بتلك الموجودة في الموقع الغير الملوث. في الواقع، لاحظنا تطوراً أكبر للجذر، وانخفاض في نشاط التمثيل الضوئي، وزيادة في مستويات البروتين، بالإضافة إلى تحفيز نشاط الكاتلاز استجابة للإجهاد البيئي.

الكلمات المفتاحية : التلوث ،البوط عريض الاوراق، مياه الصرف الصحي.

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 Oued k'sob	07
2.3. Localisation géographique du troisième site barrage Ain Zada « l'oued Boussellam»	08
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	09
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	10
3.4.2. Dosage de l'activité Catalase (CAT)	10
5. Etude statistique	11

Table des matières

Chapitre 2 : Résultats

1. Effet de la pollution environnementale sur les paramètres biométriques chez <i>Typha latifolia</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>Typha latifolia</i>	13
3. Effet de la pollution environnementale sur le taux de protéines totale chez <i>Typha latifolia</i>	14
4. Effet de la pollution environnementale sur l'activité catalase chez <i>Typha latifolia</i>	15

Chapitre 3 : Discussion

Discussion	17
Conclusion et perspectives.....	21
Références bibliographiques.....	22

Liste des figures

N°	Titres	Pages
1	Plantes de <i>Typha latifolia</i> présenter dans les trois sites d'étude : site témoin A, site moins pollué B et le site pollué C (photo personnelle)	4
2	Les racines du <i>Typha latifolia</i> (photo personnelle)	5
3	Les feuilles du <i>Typha latifolia</i> (photo personnelle)	5
4	Localisation de la forêt d'El Hammadia « Maali » (Google Earth, 2023)	6
5	Localisation géographique du site pollué 01 « Oued k'sob » (Google earth, 2023)	7
6	Localisation géographique du site pollué 02 « Oued Boussellam » (Google earth, 2023)	8
7	Le nombre moyen des racines chez <i>T. latifolia</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n=3$).	12
8	Longueur moyenne des racines chez <i>T. latifolia</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n=3$).	13
9	Teneurs en protéines totales foliaires et racinaires chez <i>T. latifolia</i> prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).	15
10	Variation de l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines de <i>T. latifolia</i> prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$).	16

Liste des Tableaux

N°	Titres	Pages
1	Classifications botanique de <i>Typha latifolia</i> (Saint Maxent,2002)	6
2	Gamme d'étalonnage d'une solution mère de BSA (à 1mg/ml).	10
3	Effet de la pollution environnementale sur la concentration de chlorophylles a, b, a+b et de caroténoïdes dans <i>T. latifolia</i> (m± SD; n = 3).	14

Liste des abréviations

ACT : Activité enzymatique

BSA : 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.

PSI : Photosystème I

PSII : Photosystème II

ROS: Reactive Oxygen Species

SP: Site pollué

ST : Site témoin

T. latifolia : *Typha latifolia*

Zn: zinc



Introduction

L'eau est un élément précieux indispensable à la vie, cette ressource naturelle recouvre les trois quarts de notre planète. Elle représente à la fois un enjeu politique, économique et stratégique. En effet, l'eau a un rôle fondamental dans de nombreux domaines comme la potabilisation, l'agriculture, l'industrie, la production d'électricité ainsi que les usages domestiques **(Benkaddour, 2018)**.

Actuellement, les ressources en eau sont exposées à diverses pollutions d'origines multiples. Ainsi, la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un sérieux problème de détérioration de la qualité des eaux, à cause des rejets industriels non contrôlés et de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture, ce qui a inévitablement pour conséquence des effets néfastes pour l'homme et pour son environnement (la faune et la flore) **(Benkaddour, 2018 ; Boufedech et Mekired, 2018)**.

Pour pouvoir être rejetés dans l'environnement, les eaux usées doivent satisfaire de nombreux critères de qualité visant notamment à maintenir leurs concentrations en polluants en deçà de valeurs seuils. Pour respecter ces exigences, ces effluents font fréquemment l'objet de traitements de décontamination, préalablement à leur rejet, afin d'abattre les concentrations des substances dangereuses pour l'environnement et la santé humaine **(Charles et al., 2011)**. Cependant, en règle générale, cette épuration n'est jamais complète et, bien qu'ils respectent les seuils réglementaires en vigueur, les rejets libérés dans les cours d'eaux ne sont pas totalement dépourvus de substances polluantes **(Morin-Crini et al., 2013)**. Les polluants et contaminants présents dans les rejets peuvent en outre interagir entre eux sans qu'il soit toujours possible de prédire la nature des interactions. De plus, dans un mélange complexe de polluants, la composition est susceptible de varier au cours du temps et en fonction des caractéristiques physico-chimiques du milieu, ce qui augmente potentiellement sa toxicité **(Crini et Badot, 2007)**.

Cette problématique de la pollution hydrique a déclenché une prise de conscience dans le monde entier, et a poussé les chercheurs à s'intéresser à l'évaluation de la toxicité des rejets et la qualité des milieux aquatiques. Différentes méthodes de surveillance et d'évaluation ont été ainsi mises au point et sont couramment utilisées **(Benkaddour, 2018)**.

La biosurveillance de la qualité de l'eau est un outil pertinent, simple et peu coûteux, complémentaire aux mesures physico-chimiques. Cette technique permet la détection de polluants dans l'environnement en se basant sur les effets, produits par ceux-ci, sur les organismes vivants

et leurs écosystèmes. Elle repose sur l'utilisation de bio-indicateurs qui fournissent de manière indirecte des informations sur les niveaux de pollution de leur milieu (**Ettajani et al., 2001 ; Zhou et al., 2007**).

Plusieurs organismes tels que les macro-invertébrés, les bryophytes, les moules, les daphnies, les micro-algues, les poissons, les bactéries ou les héliophytes, ont déjà été utilisés comme outils de biosurveillance au sein des masses d'eau. Parmi ces organismes, les plantes aquatiques sont utilisées depuis des décennies. L'utilisation des macrophytes en tant que bio-indicateurs s'avère très intéressante car de simples mesures basées sur des observations morphologiques et/ou physiologiques peuvent refléter les effets délétères liés à l'exposition à des contaminants. Il a notamment été montré que les macrophytes présentent des réponses multifacettes en présence de mélanges de polluants qui dépendent de l'espèce exposée et des caractéristiques de l'effluent (la concentration en polluants, leur type chimique et les interactions potentielles) (**Guittonny-Philippe et al., 2014**).

Typha latifolia compte parmi les macrophytes prometteuses dotées de plusieurs caractéristiques clés adaptées à la bio-indication et la phytoremédiation (**Prasad et Freitas, 2003**). 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 la qualifie d'excellent modèle pour l'évaluation de la qualité des eaux. L'utilisation de ces macrophytes s'avère donc appropriée à la fois pour l'évaluation in situ de l'écotoxicité des eaux usées mais aussi pour réduire la concentration en polluants de ces derniers (**Jiang et Wang, 2007**).

Dans cette optique, notre recherche a pour objectif de contribuer à l'évaluation de la qualité des eaux des oueds de la wilaya de Bordj Bou Arréridj d'étudier l'impact de la pollution hydrique sur la biométrie et la physiologie du macrophyte « *Typha latifolia* ». Afin de réaliser ce travail, nous avons procédé à un échantillonnage de cette plante sur trois sites différents de la wilaya, présentant des degrés et des origines de pollution très variés.

Ce manuscrit est organisé comme suit :

- Premièrement, une introduction générale qui fournit un aperçu de la pollution de l'eau, et l'intérêt de l'utilisation des macrophytes comme des espèces bioindicatrices pour évaluer la qualité de l'environnement.
- Deuxièmement, une partie expérimentale, subdivisée en trois principaux chapitres:

- Le premier chapitre comprend une description détaillée du matériel végétal, des sites d'échantillonnage, et des protocoles expérimentaux utilisés dans notre étude.
 - Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus.
 - Dans le troisième chapitre, nous procédons à une discussion des résultats obtenus.
- Enfin, nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale 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 étude est la massette « *Typha latifolia* ». Des échantillons de cette plante ont été recueillis sur trois sites différents (**Figure 1**) durant la saison de printemps (25/04/2023).

- Le premier site est situé dans la forêt d'El Hammadia « Maali », Bordj Bou Arréridj. C'est une zone moins polluée, considérée comme témoin (**ST**).
- Le deuxième site (**P1**) est situé en bordure de « Oued El k'sob » localisé entre la wilaya de Bordj Bou Arréridj et la wilaya de M'sila. Les rejets déversés dans cet oued sont de type urbain, agricole et le plus fréquemment industriel.
- Le troisième site (**P2**) est situé à proximité de « l'Oued Bousselam ». Cet oued est sujet à une très forte pollution du fait des rejets qu'il reçoit quotidiennement, ayant pour origine diverses activités humaines (les usages domestiques, les pratiques agricoles et essentiellement les procédés industriels).

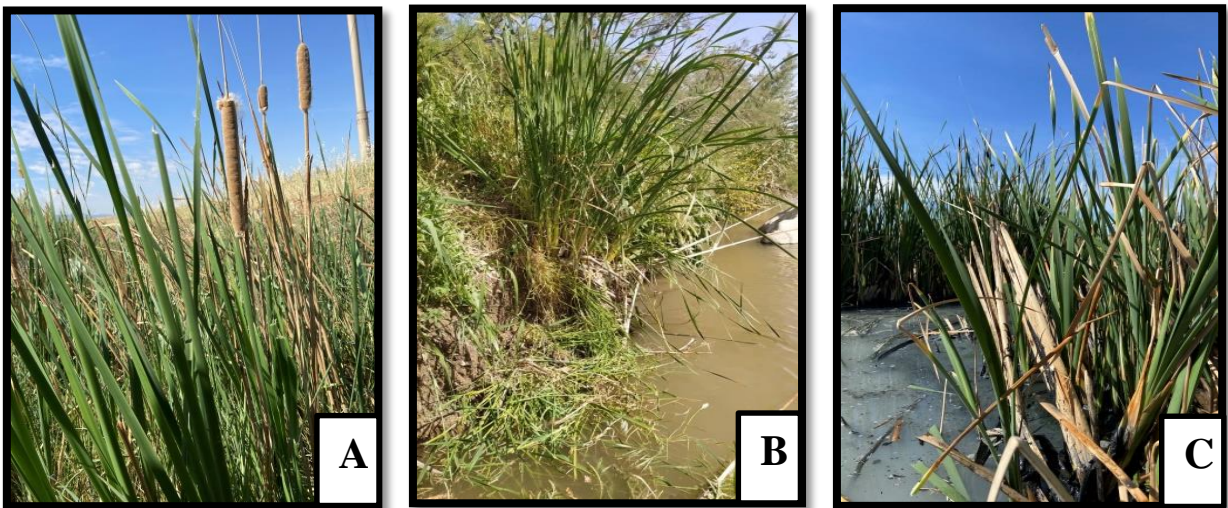


Figure 1 : Plantes de *Typha latifolia* présentes dans les trois sites d'étude : site témoin (A), site pollué 1 (B), site pollué 2 (C) (**Photo personnelle**).

1.1. Description de la plante

La massette *Typha latifolia*, aussi appelée roseau à massette, est la plus répandue du genre *Typha*, elle appartient à la famille des *Typhaceae*. Cette plante herbacée pérenne pousse dans les

régions tempérées et tropicales de l'hémisphère nord, elle est présente plus fréquemment près des étendues d'eau douce ou des cours d'eau (Mimeche, 2014).

La plante peut mesurer entre 1,5 et 3 mètres de hauteur, elle possède des feuilles larges (Figure 3), linéaires et plates mesurant 2 à 4 cm. C'est une plante à rhizome dont les fleurs sont portées en épis cylindriques sur une tige robuste. Ses racines adventives prennent naissance sur les rhizomes latéraux (Figure 2) (Gagnon, 2012).

Plusieurs études ont montré la capacité de la massette à se développer dans des environnements difficiles et fortement pollués et à extraire les éléments traces métalliques (ETMs) du milieu environnant sans perturbations physiologiques graves (Barros, 2013 ; Mojiri et al., 2013 ; Shehzadi et al., 2014). Elle est très efficace dans l'épuration des effluents industriels chargés de polluants chimiques (El Omari, 2016). Ces caractéristiques sont attribuables à sa structure aérodynamique interne, composée de tissus à cellules ouvertes qui permettent une absorption optimale des polluants (Barros, 2013 ; Mojiri et al., 2013). Chandanshive et al. (2017) et Masi et al. (2019) ont également mise en évidence le potentiel élevé de la massette à dégradation et à éliminer les colorants textiles des effluents industriels.



Figure 2 : Les racines de *Typha latifolia* (photo personnelle).



Figure 3 : Les feuilles de *Typha latifolia* (photo personnelle).

1.2. Classification de l'espèce

Nous avons opté pour la classification botanique de **Saint Maxent (2002)** représentée dans le **tableau (1)** :

Tableau 1: Classification botanique de *Typha latifolia* (Saint Maxent, 2002).

Règne :	Végétal
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Liliopsida
Sous-classe :	Commelinidae
Ordre :	Typhales
Famille :	Typhaceae
Genre :	<i>Typha</i>
Espèce :	<i>Typha latifolia</i>

2. Descriptions des sites d'échantillonnage

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

Le premier site d'échantillonnage est localisé à une altitude moyenne de 1132 mètres, dans la forêt d'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 de M'sila, à l'est par la Daira de Bordj El-Ghadir, et à l'ouest par le barrage d'El-Qasab (**Figure 4**) (**Boulal et Tayeb, 2018**).



Figure 4 : Localisation de la forêt d'El Hammadia « Maali » (**Google Earth, 2023**).

2.2. Localisation géographique du deuxième site : « Oued El K'sob »

Oued El K'sob est considéré comme l'un des axes les plus importants de la région de Bordj Bou Arréridj. Il draine une surface de 1484 km² avec une pente moyenne d'environ 9,3 et se termine par le barrage El K'sob (région de M'sila) (**Figure 5**). Il est connu comme étant le collecteur final de tous les oueds situés au sud de la wilaya.

Ce site est confronté à de graves problèmes de pollution, générés non seulement par les rejets urbains et agricoles, mais également par l'installation anarchique des zones industrielles sans considération de la préservation de l'environnement (**Benkadja et al., 2013**). Le site est caractérisé par une activité industrielle intense et diversifiée, ce qui indique la présence de concentrations élevées de métaux lourds, de multiples substances chimiques, ainsi que d'autres sous-produits résultant des réactions chimiques se déroulant dans les conduites d'évacuation des eaux usées (**Sellal, 2018**). Il convient de noter que les rejets industriels sont déversés directement dans l'Oued sans aucun traitement préalable, contrairement aux rejets urbains qui sont traités au niveau de la station d'épuration avant d'être évacués (**Sellal, 2018**).



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

2.3. Localisation géographique du troisième site : « Oued Boussellam »

L'une des principales ressources en eau dans les hauts plateaux de l'est d'Algérie est l'Oued Boussellam. Il est exposé à la fois à la pollution naturelle et anthropique. Le barrage d'Ain Zada, situé à 25 km à l'Ouest de Sétif et à 40 km à l'Est de Bordj Bou Arréridj, est alimenté par le sous-bassin du Mont Boussellam (NE Algérien), qui a une superficie de 1785 km². Ce dernier fournit les deux wilayas de Sétif et de BBA avec de l'eau, y compris plusieurs agglomérations (**Figure 6**) (**Mebarkia, 2011**).

Le barrage d'Ain Zada contrôle le sous bassin de Boussellam, qui reçoit des déchets d'un certain nombre d'activités industrielles (telles que la zone industrielle de Sétif (centaines d'usines), Ain Oulmène et Mezlougue, etc.). Ces eaux sont utilisées, entre autres, pour irriguer certaines terres agricoles. En raison de sa morphologie, du climat semi-aride, de la vocation agricole et de la présence de plusieurs industries, la zone d'étude est sensiblement vulnérable. Ces facteurs exposent les eaux superficielles à une pollution sévère (**Mebarkia, 2011**).

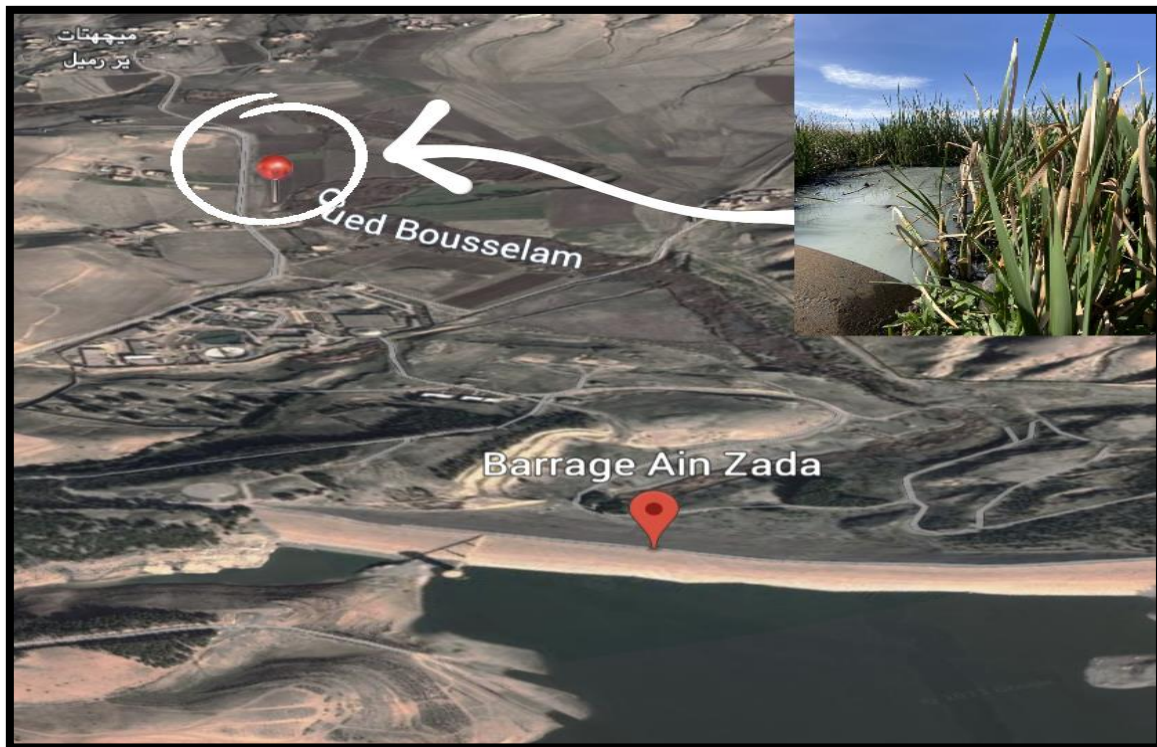


Figure 6 : Localisation géographique de « Oued Boussellam » (**Google Earth, 2023**)

3. Paramètres étudiés

Les échantillons collectés sur les trois sites ont été transportés au laboratoire et rincés avec de l'eau distillée pour servir au dosage des différents paramètres.

3.1. Mesure des paramètres biométriques

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

L'extraction de la chlorophylle et des caroténoïdes a été réalisée selon la méthode de **Holden (1975)**. 1 g de feuilles de *Typha latifolia* ont été 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 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 ont permis de calculer les teneurs en 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 :

$$C = 1000 \times \text{DO}_{450} - 1,90 \text{ Chl a} - 63,14 \text{ chlb} / 214$$

3.3. Dosage des paramètres biochimiques

3.3.1. Dosage des protéines totales

Les taux des protéines totales des feuilles et des racines de *Typha latifolia* sont déterminés selon la méthode de **Bradford (1976)** en utilisant une solution étalon d'albumine de sérum bovin (BSA) (**Tableau 2**). La lecture se fait à une longueur d'onde de 595 nm.

Après avoir broyé 500 mg de matière fraîche (feuilles et racines) dans un mortier avec 5 ml d'eau distillée, la solution obtenue a été filtrée. 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 des densités optiques a été effectuée à l'aide du 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 2 : Gamme d'étalonnage d'une solution mère de BSA (à 1mg/ml).

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 de l'activité catalase (CAT)

3.4.1. Préparation de l'extrait enzymatique

La procédure utilisée pour obtenir l'extrait enzymatique est celle de **Loggini et al. (1999)**. 500 mg de matière fraîche (feuilles et racines) a été broyé à froid dans un mortier avec 5 ml de tampon phosphate (50 mM, pH = 7,5).

L'homogénat est ensuite filtré puis centrifugé à froid à 12 000 g pendant 20 minutes. Le surnageant obtenu est utilisé comme extrait pour déterminer l'activité de la catalase.

3.4.2. Dosage de l'activité enzymatique

Le dosage de l'activité de la catalase (CAT) est effectué selon la méthode de **Boscoloa et al. (2003)**. Nous avons enregistré la décroissance de la densité optique à l'aide du spectrophotomètre chaque 30 s pendant 1 min pour une longueur d'onde de 240 nm et un coefficient d'extinction molaire linéaire $\epsilon = 39400 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ L}$. Le mélange réactionnel contient 100 μl d'extrait enzymatique brut, 50 μl de peroxyde d'hydrogène à 0,3% et 2,8 ml de tampon phosphate (50 mM, pH=7,2). L'appareil est étalonné en l'absence de l'extrait enzymatique. L'ajout d'eau oxygénée déclenche la réaction. L'activité catalase est mesurée en nmol/min/mg de protéines et est calculée selon la formule ci-dessous :

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

Où : **Act**: Activité enzymatique en nmol/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.

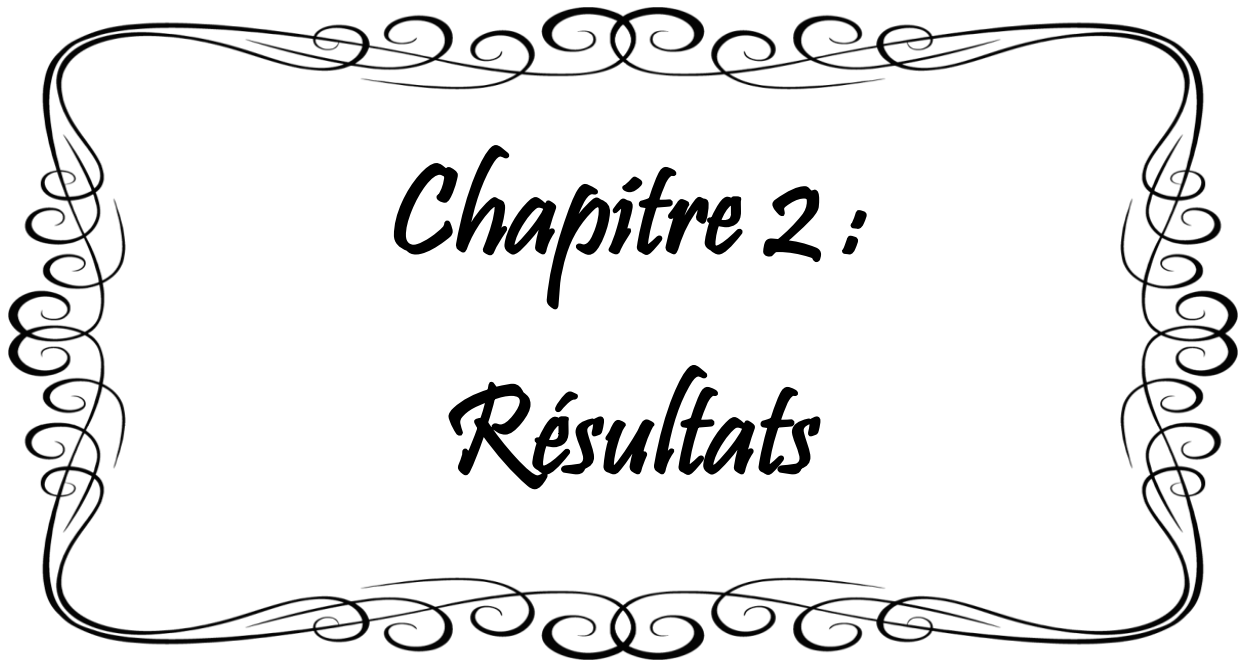
T : Temps de lecture.

4. Etude statistique :

Les résultats ont fait l'objet d'une analyse statistique en utilisant le logiciel Minitab (la version 14.0.). Trois répétitions ont été retenues pour chaque paramètre mesuré ($n = 3$).

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 *Typha latifolia*

1.1. Effet sur le nombre moyen des racines

Le nombre moyen des racines enregistré chez *T. latifolia* au site témoin et des sites pollués 1 et 2 est indiqué dans la figure ci-dessous.

Nos résultats montrent que le NMR est plus élevé chez les plantes prélevées des deux sites pollués (P1) et (P2) par rapport à celle du site témoin (T). En effet, le NMR varie de 14,66 racines pour les plantes du site P1 à 18,66 pour celles du site P2, alors qu'il n'atteint que 5,66 racines chez *T. latifolia* prélevée du site T.

Selon l'analyse de la variance à un critère de classification, il existe une différence hautement significative entre les trois sites d'échantillonnage ($p=0,003$).

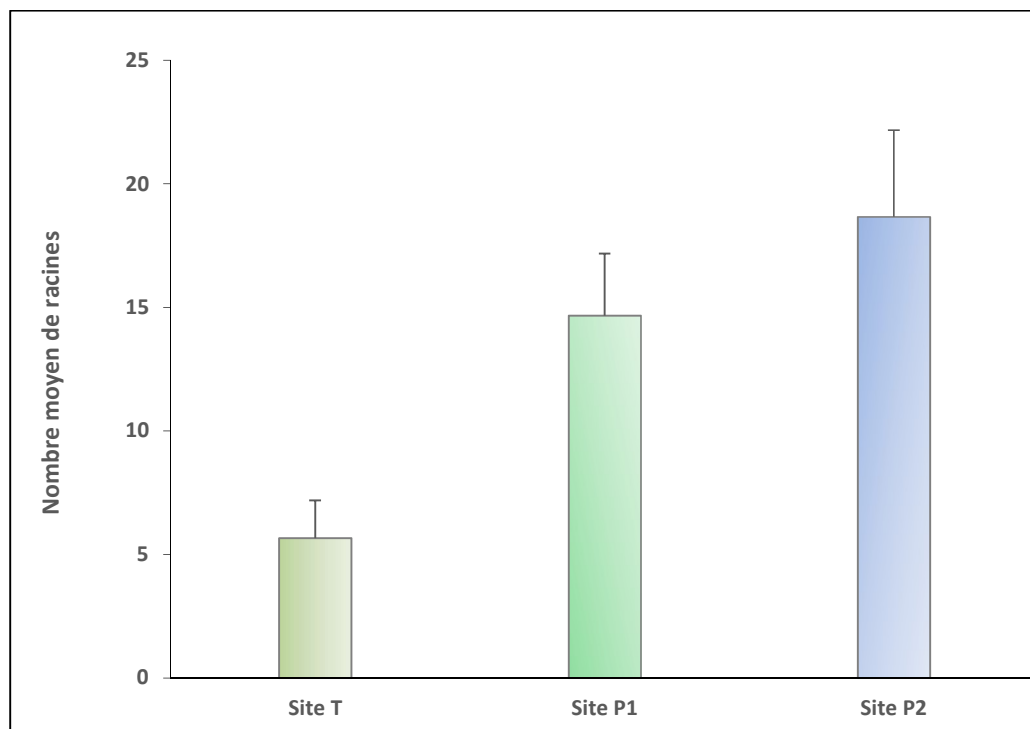


Figure 7 : Le nombre moyen des racines chez *T. latifolia* prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n=3$).

1.2. Effet sur la longueur moyenne des racines

La **figure (8)** montre l'impact de la pollution environnementale sur la longueur moyenne des racines de *T. latifolia*.

Les résultats obtenus indiquent des valeurs plus élevées chez les plantes collectées sur les sites pollués (P1) et (P2) comparativement à celle du site (T). En effet, la LMR passe de 8,86 cm chez les plantes témoins à 24,33 cm chez celles du site P1, et atteint sa valeur maximale qui est de l'ordre de 33,66 chez les plantes prélevées du site P2

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

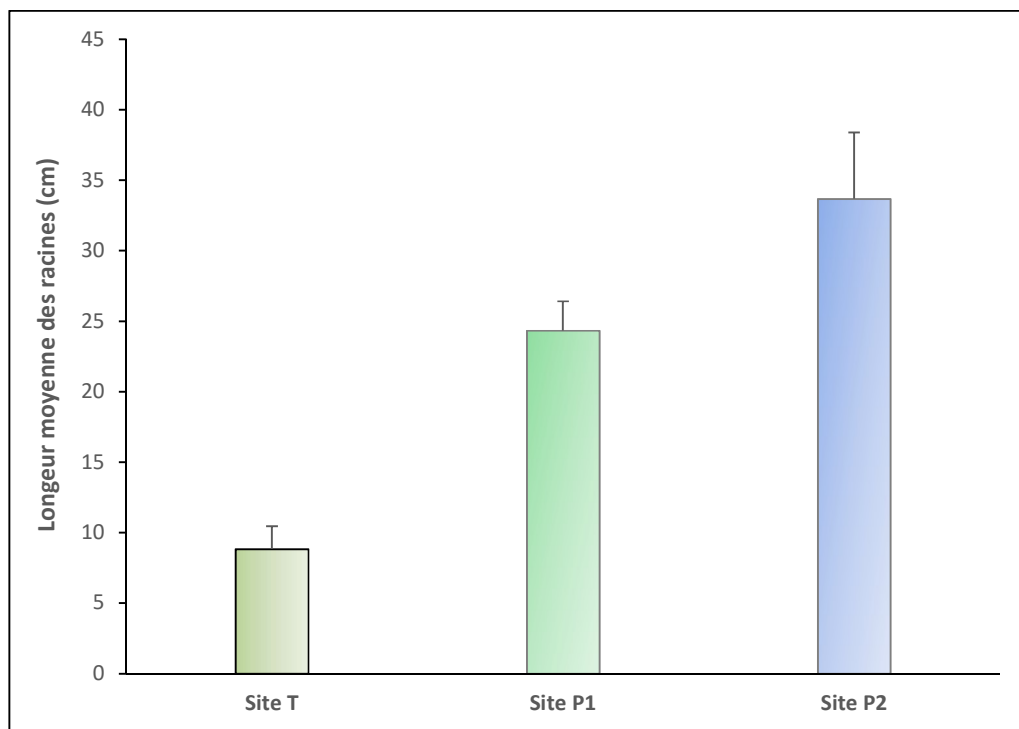


Figure 8 : Longueur moyenne des racines chez *T. latifolia* prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).

2. Effet de la pollution environnementale sur la synthèse des pigments photosynthétiques chez *Typha latifolia*

L'ensemble des résultats relatifs à l'impact du stress environnemental sur la synthèse des chlorophylles et des caroténoïdes au niveau des feuilles de *T. latifolia* sont représentés dans le **tableau (3)**.

Selon les valeurs enregistrées, les concentrations 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 relevées dans le site P2. En effet, la teneur moyenne en chlorophylle a est seulement de 5,620 et 2,923 mg/g MF chez les plantes des sites pollués (P1) et (P2), respectivement, alors qu'elle atteint 23,243 mg/g MF chez celles témoins. En ce qui concerne la concentration en chlorophylle b, elle passe 9,423 mg/g MF chez les plantes témoins à environ 4 mg/g MF chez celles du site P1, pour atteindre seulement 2,52 mg/g MF chez les plantes prélevées du site P2. La teneur en chlorophylle a+b, quant à elle, passe d'une valeur de l'ordre de 32,66 mg/g MF pour le site T à des valeurs de l'ordre de 9,49 mg/g MF et 5,453 mg/g MF pour les sites P1 et P2, respectivement. D'autre part, la teneur en caroténoïdes qui est seulement de 2,610 et 1,238 mg/g MF pour les deux sites pollués (P1) et (P2) atteint environ 6,300 mg/g MF pour le site (T).

L'analyse de la variance à un critère de classification montre l'existence d'une différence hautement significative ($p = 0,003$) pour la chlorophylle b, entre les trois sites d'étude. Concernant la chlorophylle a, a+b et les caroténoïdes, cette différence est très hautement significative ($p = 0,000$).

Tableau 3 : Effet de la pollution environnementale sur la concentration de chlorophylles a, b, a+b et de caroténoïdes dans *T. latifolia* ($m \pm SD$; $n = 3$).

Paramètre Site	Chlorophylle a (mg/g MF)	Chlorophylle b (mg/g MF)	Chlorophylle a+b (mg/g MF)	Caroténoïdes (mg/g MF)
Site Témoin	23,243 \pm 0,207	9,423 \pm 2,266	32,666 \pm 2,446	6,285 \pm 0,533
Site Pollué 1	5,620 \pm 0,116	3,877 \pm 0,984	9,497 \pm 0,920	2,610 \pm 0,422
Site Pollué 2	2,923 \pm 0,229	2,529 \pm 0,979	5,453 \pm 1,208	1,238 \pm 0,271

3. Effet du stress environnemental sur le taux de protéines totales chez *Typha latifolia* :

La **figure (9)** résume les résultats concernant l'impact de la pollution environnementale sur la teneur en protéines totales foliaires et racinaires de *T. latifolia*.

Nos résultats montrent que les valeurs enregistrées au niveau des sites pollués (P1) et (P2) sont plus élevées que celles enregistrées pour le site T. En effet, au niveau foliaire, le taux de protéines totales chez les plantes prélevées des sites pollués (P1) et (P2) sont respectivement d'environ 6,8 et 8,7 $\mu\text{g/g}$ de MF, alors qu'il n'est que de 5,43 $\mu\text{g/g}$ de MF chez celles du site témoin. De même, le taux de protéines totales au niveau racinaire passe d'une moyenne de l'ordre de 0,41 $\mu\text{g/g}$ de MF chez les plantes du site T à presque 1,3 $\mu\text{g/g}$ de MF chez celles du site P1, pour atteindre 1,61 $\mu\text{g/g}$ de MF au niveau du site P2.

L'analyse de la variance à un critère de classification indique l'existence d'une différence significative ($p=0,046$) au niveau foliaire ($p=0,046$) et très hautement significative ($p=0,001$) au niveau racinaire, entre les trois sites étudiés.

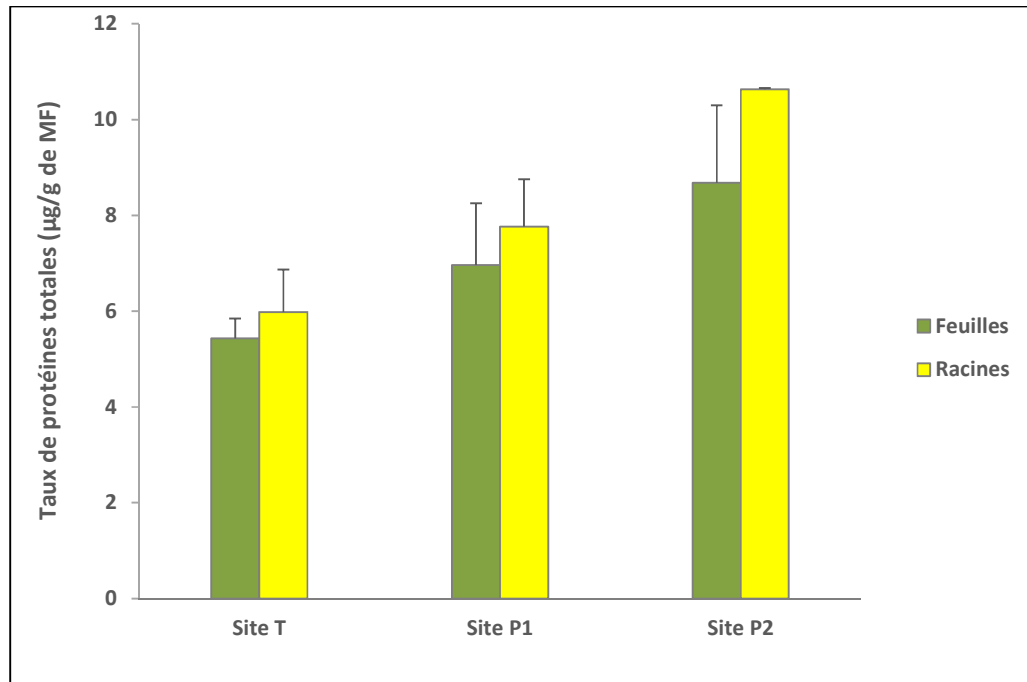


Figure 9 : Teneurs en protéines totales foliaires et racinaires chez *T. latifolia* prélevée des trois sites ($m \pm SD$; $n = 3$).

4. Impact de la pollution environnementale sur l'activité catalase chez *Typha latifolia*

La variation de l'activité catalase foliaire et racinaire chez *T. latifolia* prélevée des trois sites est illustrée sur la figure (10).

Les résultats obtenus montrent que l'activité CAT racinaire et foliaire est plus intense chez les plantes prélevées des sites pollués en comparaison avec celle du site T. Ainsi, l'activité catalase racinaire de *T. latifolia* passe de seulement 0,029 nmol/min/mg de protéines pour le site T à environ 0,2 et 0,4 nmol/min/mg de protéines pour les deux sites pollués (P1) et (P2), respectivement. Parallèlement, au niveau foliaire, l'activité CAT suit la même tendance, où elle passe d'une moyenne de 0,018 nmol/min/mg de protéines pour le site T à 0,035 et 0,066 nmol/min/mg de protéines pour les deux sites pollués (P1) et (P2), respectivement.

L'analyse de la variance à un critère de classification révèle des différences très hautement significatives ($p \leq 0,001$) au niveau foliaire et racinaire entre les trois sites d'échantillonnage.

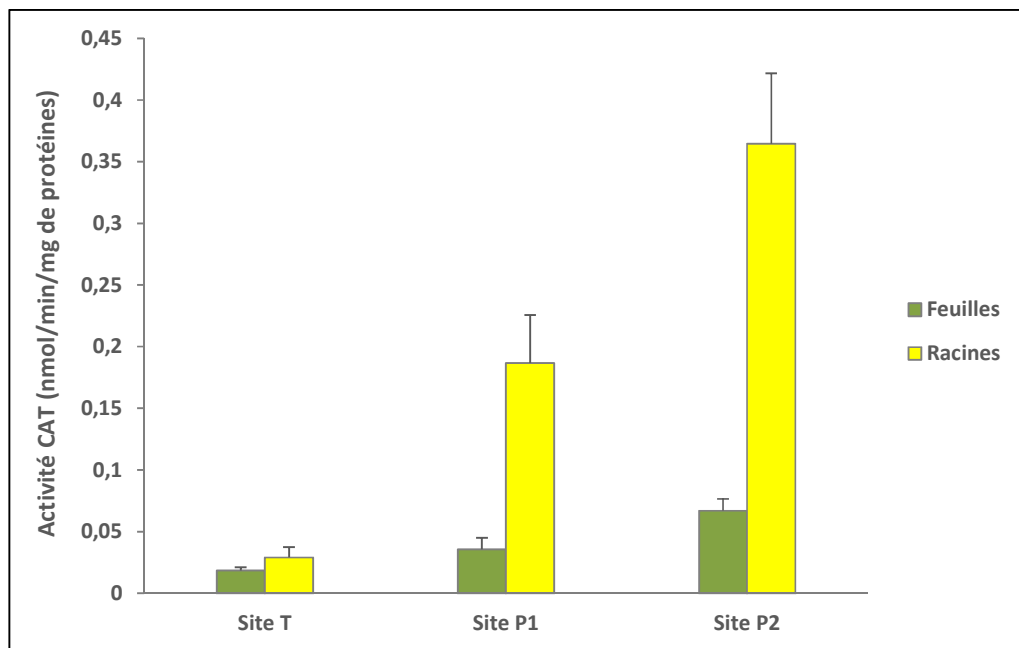


Figure 10 : Variation de l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines de *T. latifolia* prélevée des deux sites ($m \pm SD$; $n = 3$).



Chapitre 3 :
Discussion

De nos jours, 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 (Miloudi, 2009 ; Zhao et al., 2014). Ces composés sont considérés comme étant des mélanges complexes de contaminants aux concentrations variables. En effet, la conjugaison de chacun de ces contaminants peut aboutir à une forte écotoxicité pour les organismes vivants, présents dans le milieu, provoquant alors des changements dans leurs fonctions physiologiques (croissance, nutrition, respiration et reproduction). Cette menace présente une préoccupation majeure, ce qui a déclenché une prise de conscience mondiale et généralisée, et a poussé les chercheurs à s'intéresser à l'étude de l'état et du degré de contamination des milieux aquatiques (Ivanowsky, 2016)

Dans le cadre de la biosurveillance de la qualité de l'eau, l'utilisation d'espèces bioindicatrices est fascinante car elle permet d'évaluer la qualité de l'eau, de définir l'état des systèmes et d'identifier les actions correctives à mettre en place pour atteindre leur bon état. En raison de leur facilité de manipulation et de leur abondance dans le milieu aquatique, les macrophytes aquatiques sont fréquemment utilisées pour la biosurveillance des masses d'eau. (Demirezen et Aksoy, 2006 ; Calzoni et al., 2007 ; Giudice et al., 2010).

C'est dans ce contexte que nous nous sommes orientés vers l'étude de l'impact de la pollution hydrique sur la massette « *Typha latifolia* ». 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 El K'sob » et « Oued Bouselam » récepteurs d'effluents de différentes origines (urbaines, agricoles et surtout industrielles).

Plusieurs études ont montré que les stress environnementaux, comme la contamination des eaux par divers polluants, la sécheresse, la salinité et les basses températures, sont des conditions qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Les plantes développent généralement 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).

Afin de confirmer la capacité de *T. latifolia* à survivre face à la pollution environnementale, nous nous sommes intéressés dans un premier temps, à la mesure des paramètres biométriques. Nos résultats ont mis en évidence un système racinaire dense et hautement développé dans les

sites pollués par rapport au site témoin. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Bensaid (2010)** et **Sidali et Yaiche (2022)** qui ont étudié l'impact des eaux usées d'origine industrielle sur les deux macrophytes *Typha latifolia* et *Phragmites australis*, respectivement. D'après **Pilon-Smits (2005)**, les plantes épuratrices telles que les macrophytes, ont une croissance relativement rapide, et un réseau racinaire extrêmement développé leur permettant d'extraire et d'emmagasiner des concentrations élevées de polluants dans leurs tissus. Grâce à ces racines les macrophytes sont capables de tolérer des degrés importants de pollution.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés à l'influence du stress environnemental sur l'activité photosynthétique en mesurant les teneurs en chlorophylles et en caroténoïdes chez *T. latifolia*, car ceux sont des indicateurs très sensibles au stress, considérés comme de bons biomarqueurs de la toxicité chez les plantes (**Dewez et al., 2007**). D'après nos résultats, la présence de *T. latifolia* dans un environnement pollué a entraîné une diminution des taux de chl a, chl b, chl a+b et de caroténoïdes par rapport aux niveaux enregistrés dans les plantes présentes dans le site témoin. Des observations similaires ont été rapportées par **Duman et al. (2010)** chez *Lemna minor L.* exposée à différentes concentrations de l'arsenic (As). Les mêmes résultats ont été observés par **Radić et al. (2010)** chez la même espèce exposée aux effluents industriels. De même **Brent Nichols et al. (2000)** ont enregistré une inhibition de la synthèse de tous les pigments photosynthétiques y compris les caroténoïdes chez la plante aquatique *Salvinia minima* soumise à une pollution par le chrome (Cr). La diminution de la chlorophylle résulte probablement de l'inhibition des enzymes intervenant dans la biosynthèse de ces pigments (**Mysliwa-Kurdziel et al., 2002**). 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 dans certains cas, être à l'origine d'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 troubles dans le transport du flux d'électrons du PSI et PSII conduisant à la réduction de l'O₂ et à la génération des ERO (**Moussa, 2004; Li et al., 2006**). D'autre part, la diminution des teneurs en caroténoïdes pourrait être due à la forte accumulation de polluants dans les feuilles des plantes. Ainsi, la chlorophylle et les caroténoïdes sont considérés comme des antioxydants pouvant être partiellement épuisés par la production excessive de radicaux libres (**Aoun, 2009**).

Dans le but d'évaluer l'effet de la pollution sur les paramètres biochimiques, nous nous sommes orientés vers la quantification de la teneur en protéines totales des racines et des feuilles de *T. latifolia*. Les résultats obtenus ont montré une augmentation de la synthèse protéique dans les sites contaminés par rapport au site témoin. L'augmentation de la quantité de protéines peut s'expliquer par le fait que la présence de xénobiotiques dans les tissus végétaux stimule la synthèse protéique de nombreuses enzymes, y compris celles impliquées dans la détoxification. Ceci est en plein accord avec les résultats de **Shradha et al. (2004)** montrant une accumulation des protéines chez la même espèce suite à l'accumulation de métaux. Selon **Gardés-albert et al. (2003)**, l'augmentation des protéines est causée par la tentative de la plante à protéger son intégrité morpho-physiologique en réponse aux dommages et aux effets défavorables causés par les polluants. Selon **Stalt et al. (2003)**, l'exposition des plantes à des concentrations variées de polluants a tendance à générer une stimulation de la synthèse protéique, spécialement des phytochélatines, qui assurent la détoxification de près de 80% des xénobiotiques.

Il convient de souligner, d'après nos résultats, que la synthèse protéique est plus intense au niveau des racines. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les racines servent de point de défense principal de la plante contre divers stressseurs, puisqu'elles sont directement ancrées sur le sédiment, ce qui les expose à de fortes concentrations de xénobiotiques (**Pflugmacher et al., 1997 ; Derradji, 2015**).

Afin de compléter au mieux notre travail, nous nous sommes enfin penchés sur le dosage de l'activité d'une enzyme impliquée dans la détoxification, qu'est la catalase. Cette enzyme catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène en une molécule d'eau et d'oxygène (**Arora et al., 2002**). Nos résultats montrent une intensification de cette activité enzymatique au niveau foliaire et racinaire chez les plantes prélevées des zones polluées. Ceci pourrait être dû au déclenchement du système de détoxification, ce qui permet une adaptation au xénobiotique se traduisant ainsi par une augmentation de ces enzymes (CAT), qui régulent les concentrations des ROS (**Lin et Kao, 2000**). Selon **Yang et Poovaiah (2002)**, les concentrations accrues de Ca^{2+} et de peroxyde d'hydrogène à l'intérieur des cellules sont considérées comme fortement corrélées avec l'activité catalase accrue. L'augmentation des niveaux de calcium sous stress provoque la protéine cytosolique calmoduline à se lier aux ions calciques, générant un complexe Ca^{2+} / calmoduline, qui stimule à son tour l'activité de cette enzyme. Ce dernier sert de molécule de signal, favorisant l'activation de la catalase. (**Maleva et al. 2009**) ont également rapporté une stimulation de l'activité CAT chez la

plante aquatique *Elodea canadensis* exposée au nickel. Selon plusieurs d'autres recherches, l'exposition à certains contaminants, tels que le cadmium (**Souiki, 2008**), le NPK (**Bouchelaghem, 2012**), le chlorure de sodium et le silicone (**Zhu et al., 2004**), et l'uranium (**Vandenhove et al., 2007**) provoque une forte augmentation de l'activité catalase. Selon **Grato et al. (2005)**, la présence des niveaux élevés de métaux lourds dans les zones polluées peut stimuler la génération de ROS et modifier la réponse antioxydante y compris celle de la catalase. Il est à noter 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 au niveau des racines qu'au niveau des feuilles, ce qui augmente l'intensité du stress (**Hegedus et al., 2001**).



Conclusion et perspectives

Notre recherche a pour objectif d'évaluer les effets de la pollution environnementale sur la plante aquatique *Typha latifolia*. Ces plantes ont subi de nombreux changements au niveau biométrique, physiologique, biochimique et enzymatique en réponse au stress. Ces changements permettent à la plante de survivre et de s'adapter aux conditions défavorables de son milieu. L'étude de ces différents paramètres nous a permis de mettre en évidence une croissance racinaire plus développée chez les plantes vivantes dans les deux sites pollués, ceci leur permet d'absorber et de stocker des concentrations importantes de polluants et augmente leur capacité de tolérance.

D'autre part, la synthèse de pigments photosynthétiques a été fortement réduite par la présence de polluants dans le milieu, ce qui s'est traduit par une diminution importante des teneurs en chlorophylles et caroténoïdes.

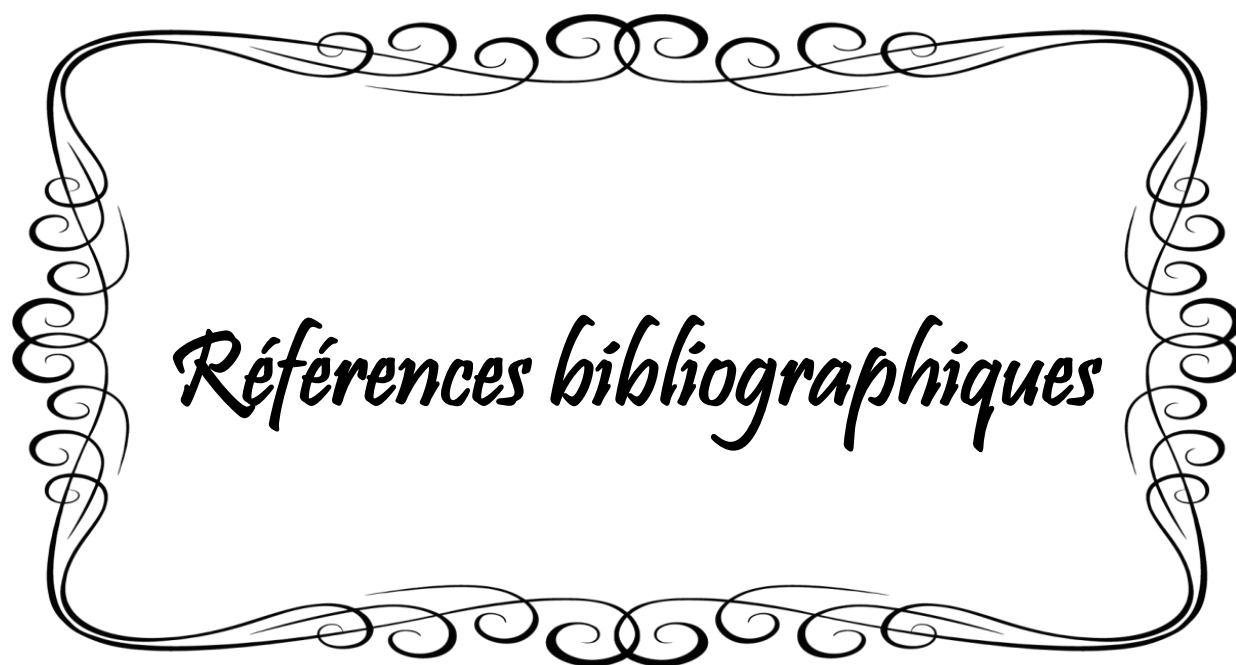
Sur le plan biochimique, une augmentation significative des taux de protéines totales foliaires et racinaires a été notée chez les plantes prélevées des deux sites pollués par rapport au site témoin, ce qui reflète l'activation du système de détoxification.

Enfin, sur le plan enzymatique, et en réponse au stress, une stimulation remarquable de l'activité CAT a été enregistrée au niveau racinaire et foliaire dans les deux sites pollués.

Au terme de nos expériences, nous pouvons conclure que la plante « *Typha latifolia* » est un excellent bio indicateur qui reflète parfaitement la qualité de son milieu. Elle représente un outil prometteur et très utile pour la bio-surveillance de la qualité des eaux et l'évaluation des risques de la pollution hydrique.

En perspective, il pourrait être intéressant de :

- Examiner les capacités épuratrices de cette plante en installant un système de filtration planté de massette *Typha latifolia*.
- Réaliser une analyse des eaux des sites pollués afin de déterminer les concentrations en polluants rejetés.
- Déterminer les concentrations en métaux dans les différentes parties de la plante (feuilles, racines, ...).

A decorative rectangular frame with a scalloped border, featuring a series of small, repeating scroll-like motifs along the top and bottom edges. The frame is centered on the page and contains the text "Références bibliographiques" in a cursive font.

Références bibliographiques

1. **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.
2. **Arnon D.I., (1949).** Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-25.
3. **Arora A., Sairam R. and Srivastava G. (2002).** Oxidative stress and antioxidative system in plants. Current Sciences, 82 (10), 1227-1238.
4. **Barros M., (2013).** Utilização de wetlands no tratamento de lixiviado de aterros sanitários. (Master's Thesis). Rio de Janeiro: Environmental Engineering Program, Federal University of Rio de Janeiro, 111.
5. **Benkaddour B. (2018).** Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie). Thèse de doctorat en cotutelle. Université de Perpignan via Domitia et Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.
6. **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
7. **Bensaida M. (2018).** Réponses d'une macrophyte épuratrice des eaux usées : *Typha latifolia* soumise à un stress métallique. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
8. **Bonanno G., & Giudice R. L. (2010).** Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological indicators*, 10(3), 639-645.
9. **Bouchelaghem S. (2012).** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance, le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétal : blé dur (*Triticum durum Desf*). Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 157p.
10. **Boufedech A., Mekired C. (2018).** Etude de pollution d'Oued Meboudja et risque sur la santé humaine (Annaba Nord-est Algérien). Mémoire de Master 2. Université Mohammed Seddik Benyahia, Jijel, Algérie.
11. **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.
12. **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.
13. **Calzoni GL., Antognoni F., Pari E, Fonti P., Gnes A., Speranza A (2007).** Active biomonitoring of heavy metal pollution using *Rosa rugosa* plants. *Environ. Pollut.* 149(2): 239-245.
14. **Chandanshive VV., Rane NR., Tamboli AS., Gholave AR., Khandare RV., Govindwar S.P. (2017).** Coplantation of aquatic macrophytes *Typha angustifolia* and *Paspalum scrobiculatum* for effective treatment of textile industry effluent. *J Hazard Mater*, 338, 47-56.
15. **Charles J., Crini G., Sancey B., Trunfio G., Badot P.-M., Morin-Crini, N., Minary J.-F., Gavoille, S., Lagarrigue C., Torri G., Vismara E. & Winterton P. (2011).** Suivi et optimisation d'une station de

- décontamination des eaux usées de la filière traitement de surface : abattement chimique et impact écotoxicologique. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 24(4), 329–341.
16. **Crini G. et Badot. P.M. (2007).** Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Presses Universitaires de Franche-Comité (Éditeur), Besançon, France, 353 p.
 17. **Demirezen D., & Aksoy A. (2006).** Common hydrophytes as bioindicators of iron and manganese pollutions. *Ecological Indicators*, 6(2), 388-393.
 18. **Derraji 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.
 19. **Dewez D., Ali N. A., Perreault F., & Popovic R. (2007).** Rapid chlorophyll a fluorescence transient of *Lemna gibba* leaf as an indication of light and hydroxylamine effect on photosystem II activity. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6, 532-538.
 20. **Duman, F., Ozturk, F., Aydin, Z., 2010.** Biological responses of duckweed (*Lemnaminor L.*) exposed to the inorganic arsenic species As(III) and As(V): effects of concentration and duration of exposure. *Ecotoxicology* 19, 983e993.
 21. **EL Omari, (2016).** Matériaux lignocellulosiques fonctionnels à partir de plantes vivaces marocaines et de pâtes commerciales, thèse doctorat, université Cadi Ayyad et université de Québec à Trois-Rivières, 191P.
 22. **Ettajani H., Berthet B., Amiard J.C., Chevolut L., (2001).** Determination of Cadmium Partitioning in Microalgae and Oysters: Contribution to the Assessment of Trophic Transfer. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 40, 209–221.
 23. **Gagnon V. (2012).** Effet de l'espèce de plante en marais filtrants artificiels selon la saison, le type de marais filtrant et la nature des polluants. Rapport de thèse de doctorat spécialité Génie des procédés. Université de Montréal, Canada.
 24. **Gagnon V., (2012).** Effet de l'espèce de plante en marais filtrants artificiels selon la saison, le type de marais filtrant et la nature des polluants. Thèse de doctorat. Université de Montréal, Canada.
 25. **Gardés-Albert, M., Bonnefont–Rousselot, D., Abedinzadeh, Z. and Jore, D. (2003).** Espèces réactives de l'oxygène. *L'actualité chimique*, pp.91-96.
 26. **Gratão, PL, Polle, A, Lea, PJ and Azevedo, RA. (2005).** Making the life of heavy metal stressed plants a little easier. *Function Plan*
 27. **Guittonny-Philippe, A., Masotti, V., Höhener, P., Boudenne, J.-L., Viglione, J., Laffont-Schwob, I. (2014).** Constructed wetlands to reduce metal pollution from industrial catchments in aquatic Mediterranean ecosystems: A review to overcome obstacles and suggest potential solutions. *Environ. Int.* 64, 1–16.
 28. **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.
 29. **Ivanovsky 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.
 30. **Li J., Zhang G., Qi S., Li X., & Peng X. (2006).** Concentrations, enantiomeric compositions, and sources of HCH, DDT and chlordane in soils from the Pearl River Delta, South China. *Science of the total environment*, 372(1), 215-224.

31. Li, S.W., Xue, L.G., Xu, S.J., Feng, H.Y. and An, L.Z. (2007). Hydrogen peroxide involvement in formation and development of adventitious roots in cucumber. *Plant Growth Regulation*, 52: 173-180.
32. Lin, C.C. and C.H. Kao. 2000. Effect of NaCl stress on H₂O₂ métabolisme in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 30 :151–155.
33. 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.)
34. Maleva M.G., Nekrasova G.F., Przemyslaw M., Prasad M.N.V., Strzalka K. 2009. Ecophysiological tolerance of *Elodea canadensis* to nickel exposure. *Chemosphere*. 77 (3) : 392-398.
35. Masi F., Rizzo A., Bresciani R., Martinuzzi N., Wallace S. D., Oirschot D. Van, Mezzanotte V. (2019). Science of the Total Environment Lessons learnt from a pilot study on residual dye removal by an aerated treatment wetland. *Science of the Total Environment*, 648, 144–152.
36. 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.
37. Miloudi A. (2009). *Inventaire des espèces macrophytes épuratrice dans la cuvette de Ouargla* (Doctoral dissertation, Université KASDI Merbah-Ouargla-).
38. Mimeche. (2014). Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride -Application à la région de Biskra, thèse doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 164
39. Mojiri A., Hamidi Abdul A., Zahed M.A., Shuokr Qarani A., M. Razip B. S. (2013). Phytoremediation of heavy metals from urban waste leachate by Southern Cattail (*Typha domingensis*). *Inter Jou Scie Res Env Sci.*, 1(4), 63–70.
40. 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.
41. Nichols P. B., Couch J. D., & Al-Hamdani S. H. (2000). Selected physiological responses of *Salvinia minima* to different chromium concentrations. *Aquatic Botany*, 68(4), 313-319.
42. Pflugmacher S., Geissler K. and Steinberg C. (1997). Activity of phase I and phase II detoxification enzymes in different parts of *Phragmites australis*. *Ecotoxicologie and Environnement Safety*, 42, 62-66.
43. Pilon-Smits E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review Plant Biology*, 56: 15–39.
44. Qdais H. A., & Moussa H. (2004). Removal of heavy metals from wastewater by membrane processes: a comparative study. *Desalination*, 164(2), 105-110.
45. Radić S., Babić M., Škobić D., Roje V., & Pevalek-Kozlina B. (2010). Ecotoxicological effects of aluminum and zinc on growth and antioxidants in *Lemna minor* L. *Ecotoxicology and environmental safety*, 73(3), 336-342.
46. Saint Maxent Th. (2002). Jeu de fiches descriptives des espèces végétales exotiques et indigènes susceptibles de proliférer dans le bassin Artois-Picardie, Agence de l'Eau Artois Picardie, p 167.
47. Saint Maxent Th. (2002). Jeu de fiches descriptives des espèces végétales exotiques et indigènes susceptibles de proliférer dans le bassin Artois-Picardie, Agence de l'Eau Artois Picardie, p 167.

48. 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
49. 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
50. Shehzadi M., Afzal M., Khan M. U., Islam E., Mobin A., Anwar S., & Khan Q. M. (2014). Enhanced degradation of textile effluent in constructed wetland system using *Typha domingensis* and textile effluent-degrading endophytic bacteria. *Water Research*, 58, 152–159.
51. 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.
52. 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.
53. SIDALI Hadjer Y. S. (2022). Réponses d'une plante épuratrice des eaux douces «*Phragmites australis*» vis-à-vis du stress environnemental (Doctoral dissertation).
54. Siwela A. H., Nyathi C. B., Naik Y. S. (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.
55. 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.
56. Stalt J.P., Sneller F.E.C., Bryngelson T., Lundborg T. and Schat H. (2003). Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 49:21-28
57. Vandenhove H., Cuypers A., Van Hees M., Koppen G. and Wannijn J. (2006). Oxidative stress reactions induced in beans (*Phaseolus vulgaris*) following exposure to uranium. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44: 11-12.
58. Wang S. and Jiang L. (2007) Definition of Superhydrophobic States. *Advanced Materials*, 19, 3423-3424.
59. Yang T., Poovaiah B.W. (2002). Hydrogen peroxide homeostasis: Activation of plant catalase by calcium/calmoduline. *PNAS*, 6:4097-4102.
60. Zhang L., Ma H., Chen T., Pen J., Yu S., & Zhao X. (2014). Morphological and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum L.*) plants to salinity. *PLoS One*, 9(11), e112807.
61. 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.
62. Zhou Z.S., Huang S. Q., Guo K., Mehta S. K., Zhang P.C. and Yang Z.M. (2007). Metabolic adaptations to mercury-induced oxidative stress in roots of *Medicago sativa* L.J. *Inorganic Biochemistry*. 101: 1-9.