

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت - 1955 سكيكدة.

UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955- SKIKDA-



Faculté des Sciences
Département d'Écologie et Environnement

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master
Filière : Écologie et Environnement
Spécialité: Protection des Écosystèmes
Intitulé :

***ETUDE DE L'EFFICACITE DE PLANTE LOCALE
POUR LA PHYTOREMEDIATION DES EAUX USEES
(LA REGION DE SKIKDA)***

Présenté par :

• BICHARI Iness

• NEFLA Yamina

• LANKAR Roumaissa

• TABBOUCHE Besma

Membre de Jury:

Présidente :	Mme.ABBACI Sameh	MCB	Université 20 Août 1955 - Skikda
Examinatrice:	Mme. BOUADILA Soulef	MAA	Université 20 Août 1955 - Skikda
Promotrice :	Mme. ZAOUI Lilia	MCA	Université 20 Août 1955-Skikda

2024/2025

Remerciement

En tout premier lieu, nous tenons à remercier le bon Dieu tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté, la santé et la patience pour effectuer ce modeste travail et pour dépasser toutes les difficultés.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury :

Madame BOUADILA, Madame ABBACI et madame ZAOUÏ pour avoir accepté d'évaluer notre travail de fin d'études. Nous vous sommes reconnaissantes pour le temps que vous y avez consacré, ainsi que pour vos remarques constructives et enrichissantes

Nous exprimons notre profonde et respectueuse gratitude et reconnaissance à notre promotrice Madame ZAOUÏ :

De nous avoir encadrées d'avoir suivi notre travail avec une extrême bienveillance, nous vous remercions également pour votre patience, conseils et orientations qui ont contribué à alimenter notre réflexion

Nous tenons à remercier le directeur de la raffinerie RA2K, et le responsable de laboratoire Monsieur BOUCHAMA :

De nous avoir donné l'opportunité d'effectuer notre stage au sein du complexe RA2k, pour sa disponibilité. Ses précieux conseils et ses soutiens tout au long de ce stage. Son expertise et son encouragements ont été déterminant dans l'élaboration de ce travail.

Nous remercions également toute l'équipe de laboratoire du complexe RA2k :

Ceux qui nous ont honorés de nous suivre tout au long de stage pratique . Pour leurs gentilles, aides précieuse qu'il nous ont donnés , leurs temps et leurs bonnes humeur

Leurs remarques et conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Enfin , nous remercions toutes les personnes qui ont rendu possible la réalisation de ce mémoire.



الاهداء

قال الله تعالى:

”وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ“ [يونس: 10]

بكل ما في القلب من امتنان... وبكل ما في الروح من حب ودعاء....

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أولئك الذين كانوا النور في دربي، والدعم في ضعفي، والفرح في لحظات إنجازي :

إلى أمي الحبيبة، التي لولا دعاؤها وحنانها وصبرها، لما وصلت إلى هذا اليوم...

إلى أبي العزيز، الذي غرس في حب العلم وعلمني أن الإصرار يصنع المعجزات...

إلى إخوتي وأخواتي الأعزاء رفاق الطفولة ومصدر القوة والأمان في حياتي...

إلى عائلتي الحبيبة التي لم تبخل علي يوما بحبها واحتوائها...

إلى سندي ومصدر راحتي، الذي أمن بي حين شككت في نفسي، وكان ظهري في كل لحظة تعب وتردد...

إلى صديقاتي الغاليات: يمينة، إيناس، روميساء، اللواتي كن طوق النجاة في أوقات الغرق، وضحكة صافية في وسط الزحام

وقبل الجميع، إلى روح خالتي الغالية

يمينة

التي رحلت عن دنيانا، لكنها لم ترحل

عن قلبي لحظة واحدة...

أهديك هذا النجاح يا خالتي، وأعلم أن روحك تبتسم لي من السماء...

كنت دوما فخورة بي، وها أنا اليوم أهديك ثمرة هذا المشوار الطويل،

رحمك الله بواسع رحمته، وجعل الفردوس الأعلى مأواك، وجمعني بك في مستقر رحمته.

بسمه طبوش



الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قَدْ جَعَلَهَا رَبِّي حَقًّا)

احمد الله الذي أعانني وسدّد خطاي، ومن علي بهذا النجاح بفضلته ورحمته، فله الحمد وله الشكر على ما أنعم به علي، كما أنني أشكر نفسي على ثباتي للوصول إلى هنا رغم كل التعب والليالي الطويلة التي كادت لا تنقضي. أسأل الله أن يجعل هذا الإنجاز بداية لخير أعظم، وأن يبارك في كل خطوة قادمة

إلى سيد روحي ونبض قلبي وسندي الذي لا يميل، إلى الذي أزال الاثواك عن الدرب الذي اسلكه، إلى من أرى الفخر في عينيه عندما ينظر إلي، إليك يا "أبي الغالي" رعاك الله وأدامك سندا لي

إلي نجمتي الغالية وشمسي التي لا تغيب، إلى التي كانت معلّمتي الأولى إلى التي أنارت دربي بدعائها في كل صلاة إلى وردة بيتنا إلى داعمتي و مصدر قوتي وثباتي يا "أمي عزيزتي" حفظك الله يا جنتي

إلى "أخي الأكبر" أول رفيق لي ومصدر بهجة البيت، إلى "أختي الوحيدة" جوهرة بيتنا النادرة وصديقة روحي إلى "أخي الصغير" سكر البيت الذي يملك أذن قلب على اخته، إلى "أخوتي" أدامكم الله سندا لي

إلى أختي التي لم تلدها أمي وصديقة عمري، إلى رفيقتي التي جمعتني بها مقاعد الدراسة ورافقتني طوال سنين دراستي "أصيلة" أن أنسى دعمك وثقتك بي ما حييت، وفقك الله وسدد خطاك

إلى الذي دعمني في كل لحظة ضعف ومسح دموع تعبتي وقال أنت لها "إليك" جزاك الله كل خير ووفقك في كل خطواتك

إلى رفاق الخطوة الأولى في الجامعة والخطوة ما قبل الأخيرة إلى زميلاتي في هذا المشروع "إيناس، مينا، بسمة"

إلى اللواتي كن معينات في كل خطوة، أنا ممتنة

إلى أستاذتي المشرفة على هذا العمل الدكتورة "ليليا زاوي" لقد كنت الداعم والسند ونعم المرشدة في هذا العمل شكراً لك من القلب، وبارك الله في علمك وجهدك

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات الحمد لله حمداً مباركاً فيه كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه



روميّة لنكار

DEDICACE

Avant tout, je rends grâce à Allah,

le seul qui connaît mes silences, celui qui m'a donné la force, la patience et la volonté d'avancer , Si aujourd'hui je suis là, c'est uniquement par Sa lumière. Alhamdulillah pour chaque souffle, chaque épreuve et chaque réussite.

À ma mère,

ma vie, dont les douces discrètes et les prières silencieuses ont été pour moi une protection plus forte que tout bouclier ; ma lumière et mon courage dans ce monde.

À mon père,

Cet homme silencieux dont les gestes parlent plus que les mots. la force tranquille derrière chacun de mes pas, Celui dont le regard suffit parfois à me redonner confiance. Il est resté mon repère et le pilier sur lequel je peux toujours compter.

À mes deux sœurs,

pour leur soutien, leurs sourires, leurs mots ,et leur façon unique d'être là ; Leur présence m'a portée plus d'une fois, Par une parole juste, un regard complice, Ou simplement par leur manière d'être là, sans condition ni explication.

À mes amies,

avec qui j'ai partagé les plus beaux instants, les fous rires, les doutes, les rêves, et tous ces souvenirs gravés à jamais. Merci pour votre aide, votre patience, et votre cœur immense

Et puis...

Parfois, entre deux lieux lointains, L'un portant la sérénité paisible de Kyoto, L'autre vibrant de la passion, du soleil et du mouvement de l'Espagne, Il existe une présence silencieuse, Loin par la distance, mais proche par le cœur. Une présence qui a su me soutenir, m'encourager et me rappeler que le lien véritable ne dépend pas des kilomètres .



NEFLA YAMINA

الاهداء

و آخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين
الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات الحمد لله الذي وفقني واعانني حتى بلغت هذا اليوم الذي طالما انتظرته وسعيت لأجله

اهدي تخرجي الى من احمل اسمه بكل فخر الى من حصد الاشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم الى فرحتي
الدائمة الى مصدر قوتي وفخري لطالما عاهدته بهذا النجاح وها انا اتممت وعدي واهديته اليك ”ابي الغالي“

الى اليد الخفية والقلب الحنون وصاحبة الدعاء الصادق الى نبراس ابامي ووهج حياتي الى من افنت عمرها في سبيل ان احقق طموحي واحلق في
أعالي المراتب “امي الغالية“
الى شريك دربي وسندي في كل خطوة كنت لي العون بعد الله بصبرك وتشجيعك ودعمك المستمر وقفت بجانبني في أصعب اللحظات وتحملت معي العناء كنت رفيق
وصديق الايام بطلوها ومرها فشكرا لك من القلب وبارك الله فيك وجزاك عني كل خير “زوجي الحبيب“

الى النعمة الكبرى والدعم الذي لا يخفت نوره كنتم لي العائلة التي تمنحني القوة والدفء وتحيطني بالمحبة والاهتمام فشكرا لكم على كل شيء واسأل
الله ان يديم محبتنا ويدفع عنا كل سوء “اخي الغالي (محمد) واخواتي الاعزاء (خلود، جيهان، اميرة)“
وبكل حب اهدي تخرجي الى وهج حياتي الى الذين ظلت دعواتهم تقارب اسمي الى ضلعي الثابت واماني الابدي الى
“عائلتي الثانية“

الى من مدت يديها في اوقات الضعف وتذكرني بمدى قوتي التي تؤمن بشجاعتي مهما ضعفت واقفة خلفي مثل ظلي مهما كثرت تخططاتي اخني التي لم
تلدها امي ورفيقة دربي “رائية“
الى صديقات المواقف لا السنين شريكات الدرب الطويل من كانوا في سنوات العجاف سحابا ممطرا الى من تحلوا بالإخاء والوفاء الى صديقات العمر
” روميساء، مينا، بسمة“

الى من زرعت فينا حب التعلم وكانت منارة اضاءت طريقي بالعلم والمعرفة لن انسى فضلك ما حبيبت واسأل الله ان يجزيك خير الجزاء استاذتي الفاضلة “ليليا زاوي“

“ ما سلكنا البدايات الا بتيسيره وما بلغنا النهايات الا بتوفيقه ومحققنا الغايات الا بفضلته فالحمد لله
ادامكم الله ملوكا في عرش قلبي وحفظكم ملاذا اليه انتمي



بيشاري ايناس

Résumé :

Le but de cette étude est d'évaluer l'efficacité de *Phragmites australis* dans le traitement des eaux usées, en comparant trois situations : la plante vivante, la plante morte et une zone témoin sans plante. L'expérimentation a été menée en conditions contrôlées, en analysant plusieurs paramètres physico-chimiques comme la DBO5, la DCO, l'azote et le phosphore. Les résultats montrent que *Phragmites australis* vivant permet une réduction moyenne de 38,5 % de la DBO5, 37,5 % des sulfates, 66,67 % du manganèse. À l'inverse, le *Phragmites* mort a entraîné un relargage de certains polluants, traduisant une reprise de contamination après sa décomposition. La zone témoin, quant à elle, a montré des concentrations intermédiaires : plus polluée que celle en présence de roseaux vivants, mais sans relargage aussi marqué que dans le cas du roseau mort. Ces résultats confirment le rôle actif de *Phragmites australis* vivant dans la phytoremédiation et soulignent son potentiel comme solution naturelle, économique et durable pour le traitement des eaux usées, notamment dans les zones à faibles infrastructures.

Mots clés : *Phragmites australis*, eaux usées, phytoremédiation, physico-chimiques, pollution.

Abstract:

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of *Phragmites Australis* in wastewater treatment by comparing three conditions: the living plant, the dead plant, and a control zone without plants. The experiment was conducted under controlled conditions, analyzing several physicochemical parameters such as BOD5, COD, nitrogen, and phosphorus. The results show that the living *Phragmites Australis* led to an average reduction of 38.5% in BOD5, 37.5% in sulfates, and 66.67% in manganese. In contrast, the dead *Phragmites* caused the release of certain pollutants, indicating a resurgence of contamination following its decomposition. The control zone showed intermediate levels of pollution—more polluted than the area with living reeds but without the pollutant release observed in the dead plant condition. These results confirm the active role of living *Phragmites Australis* in phytoremediation and highlight its potential as a natural, cost-effective, and sustainable solution for wastewater treatment, especially in areas with limited infrastructure.

Key words: *Phragmites Australis*, wastewater, pollution, physical-chemical, phytoremediation.

الملخص:

تهدف هذه الدراسات الى تقييم فعالية نبات القصب الاسترالي في معالجة مياه الصرف الصحي، من خلال مقارنة ثلاث حالات: نبات حي، نبات ميت، ومنطقة تحكم خالية من النباتات. اجريت التجربة في ظروف متحكم بها ، مع تحليل العديد من المعايير الفيزيائية والكيميائية، مثل طلب الأوكسجين البيروكيميائي، طلب الاكسجين الكيميائي، النيتروجين و الفوسفور. اظهرت النتائج ان نبات القصب الاسترالي الحي يقلل متوسط استهلاكه البيولوجي البيروكيميائي بنسبة 38.5 % وفي الكبريتات بنسبة 37.5% وفي المنغنيز بنسبة 66.67% .

في المقابل أدى القصب الميت الى إطلاق بعض الملوثات مما يشير الى استئناف التلوث بعد تحلله في الوقت نفسه أظهرت منطقة التحكم تركيزات متوسطة أكثر تلوثا من المنطقة التي تحتوي على القصب الحي ولكن دون إطلاق ملحوظ كما هو الحال في القصب الميت وتؤكد هذه النتائج الدور النشط الذي تلعبه نباتات القصب الأسترالي الحية في معالجة مياه الصرف الصحي وتسلط الضوء على امكانياتها كحل طبيعي واقتصادي ومستدام لمعالجة مياه الصرف الصحي وخاصة المناطق ذات البنية التحتية الضعيفة.

المفردات المفتاحية: القصب الأسترالي، المياه المستعملة، التلوث، المؤشرات الفيزيائية والكيميائية، المعالجة النباتية.

Liste des figures

N°Figure	Les titres	Page
Figure 01	Carte satellite montre la situation géographique de la willaya de Skikda	12
Figure 02	Carte du réseau hydrographique	14
Figure 03	Localisation de la zone d'étude à Hamrouche Hammoudi(Skikda) vue satellite via Google Maps	15
Figure 04	Le lac de Hamrouche Hammoudi	16
Figure 05	Carte de localisation des points d'échantillonnage (Google earth, 2025)	18
Figure 06	Les points de prélèvement des échantillons	19
Figure 07	Planche naturaliste de phragmite australis (doris, 2019)	20
Figure 08	Stockage des échantillons dans une glacière	23
Figure 09	Ph-conductimètre de paillasse (B)	24
Figure 10	Détermination de fer par spectrophotomètre	25
Figure 11	Pochette de réactif de NitraVer	26
Figure 12	Détermination de DBO5 par l'incubateur	27
Figure 13	Un thermoréacteur DRB200	27
Figure 14	Observation de la couleur des échantillons	28
Figure 15	Observation des échantillons	29
Figure 16	Histogramme représentatif des variations de température	30
Figure 17	Histogramme représentatif des variations de TDS	31
Figure 18	Histogramme représentatif des variations de conductivité	32

Figure 19	Histogramme représentatif des variations de pH	33
Figure 20	Histogramme représentatif des variations de sulfate	34
Figure 21	Histogramme représentatif des variations de MES	35
Figure 22	Histogramme représentatif des variations de nitrate	36
Figure 23	Histogramme représentatif des variations de nitrite	37
Figure 24	Histogramme représentatif des variations de d'oxygène dissous	38
Figure 25	Histogramme représentatif des variations de la DCO	39
Figure 26	Histogramme représentatif des variations de la DBO5	40
Figure 27	Histogramme représentatif des variations de phosphate	41
Figure 28	Histogramme représentatif des variations de chlore libre	42
Figure 29	Histogramme représentatif des variations de fer	43
Figure 30	Histogramme représentatif des variations de chrome	44
Figure 31	Histogramme représentatif des variations de zinc	45
Figure 32	Histogramme représentatif des variations de cuivre	46
Figure 33	Histogramme représentatif des variations de manganèse	47

Liste des tableaux

Tableau	Les titres	page
Tableau 01	Normes de rejet des eaux usées (OMS, 2005).	06
Tableau 02	valeurs limitées maximales des paramètres de rejets des installations de déversement industrielles (JORA, 1993)	07
Tableau 03	Comparaison entre la technique classique de traitement des eaux et la phytoremédiation	09
Tableau 04	Coordonnées géographiques des points d'échantillonnage	17
Tableau 05	calendrier d'échantillonnage	21
Tableau 06	Tableau représente les moyennes des résultats des analyses dans quatre semaines	28
Tableau 07	Tableau descriptif de la couleur et d'odeur des échantillons	29

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

pH : Potentiel hydrogène

S : Siemens

μS : Microsiemens

mg/L : Milligramme par litre

cm³ : Centimètre cube

TDS : Total Dissolved Solids (totaux des solides dissous)

O₂ dissous : Oxygène dissous

Fe: Fer

Zn: Zinc

Cu : Cuivre

Cl libre : Chlore libre

SO₄²⁻ : Sulfate

Mn : Manganèse

NO₃⁻ : Nitrate

NO₂⁻ : Nitrite

NH₄⁺ : Ion ammonium

P₂ O₅ : Oxyde de phosphore

PO₄³⁻ : Ion phosphate

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MOB : Matières Organiques Biodégradables

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

km : Kilomètre

hm³ : Hectomètre cube

mm: Millimètre

Tabl : Tableau

Fig : Figure

Mes : matières en suspension

R.V : Roseau Vivant

R.M : Roseau Mort

R.A : Roseau Absent

E1 : Échantillon 1

E2 : Échantillon 2

E3: Échantillon 3

Sommaire

Liste Des figures

Liste des tableaux

Listes des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : étude bibliographique

1. Introduction.....	3
2. les eaux usées.....	3
2.1. Définition.....	3
2.2. Origine des eaux usées.....	3
2.2.1. Les eaux usées domestiques.....	4
2.2.2. Les eaux usées industrielles.....	4
2.2.3. Les eaux usées agricoles.....	4
2.2.4. Les eaux usées pluviales.....	5
3. Les paramètres de la pollution de l'eau.....	5
3.1. les paramètres physique.....	5
3.1.1. Matière en suspension (MES).....	5
3.1.2. Température.....	5
3.2. Les paramètres chimiques.....	5
3.2.1. Le potentiel hydrogène (pH).....	5
3.2.2. La conductivité.....	6
3.2.3. L'oxygène dissous.....	6
3.2.4. Demande biochimique en oxygène.....	6
3.2.5. Demande chimique en oxygène.....	7
3.2.6. Nitrite (NO ₂ -).....	7

3.2.7. Nitrate (NO ₃).....	7
3.2.8. Les métaux lourds.....	7
4. Les normes de rejet selon l’OMS.....	7
5. Les normes nationales de rejet.....	8
6. La Phytoremédiation.....	9
6.1. Définition.....	9
6.2. Les techniques de la phytoremédiation.....	9
6.2.1. Phytovolatilisation.....	10
6.2.2. Phytodégradation.....	10
6.2.3. Phytostabilisation.....	10
6.2.4. Phytoextraction.....	10
6.3. Comparaison entre la technique classique de traitement des eaux et la phytoremédiation.....	11
6.4. Les avantages et les limites de la phytoremédiation.....	12
6.4.1. Les avantage.....	12
6.4.2. Les limites.....	13

CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

1. Présentation de la wilaya de Skikda.....	14
1.1 Localisation géographique.....	14
1.2 Le réseau hydraulique de la wilaya de Skikda.....	14
1.2.1 Les ressources souterraines.....	15
1.2.2 Les ressources superficielles.....	15
1.3. Données climatiques de la région de Skikda (Janvier 2025 – Avril 2025).....	16
2. Étude de la zone d’échantillonnage.....	16
2.1. Localisation géographique.....	16
2.2. Caractéristiques environnementales locales du site de Hamrouche Hammoudi.....	17
2.3. Justification du choix du site.....	18
2.4. Sélection des points d’échantillonnage.....	20

3.1. Description biologique du <i>Phragmites australis</i>	21
3.1.1. Classification taxonomique.....	21
3.1.2. La morphologie.....	22
3.1.3 .Reproduction – Multiplication	22
3.2. Description écologique du <i>Phragmites australis</i>	22
3.2.1. Habitat et répartition	22
3.2.2. Sol et conditions de croissance	23
3.2.3. Rôle écologique du phragmites australis	23
4. Matériels et méthodes d’analyse.....	23
4.1. Mode d’échantillonnage de l’eau (méthode, matériel, stockage...).....	23
4.1.1. Calendrier d’échantillon.....	23
4.1.3. Méthode de prélèvement.....	24
4.1.4. stockage d’échantillon	24
4.2. Méthodes d’analyses.....	25
4.2.1. Détermination du pH, conductivité, température, TDS	25
4.2.2. Détermination de MES	25
4.2.3. Détermination de Cuivre (Cu)	26
4.2.4. Détermination de Fer (Fe).....	26
4.2.5. Détermination de chlore libre (Cl ₂)	26
4.2.6. détermination de zinc (Zn).....	27
4.2.7. Détermination de nitrate (NO ₃ ⁻)	27
4.2.8. Détermination de nitrite (NO ₂ ⁻)	27
4.2.9. détermination de sulfate (SO ₄ ²⁻).....	27
4.2.10. Détermination de manganèse (Mn).....	28
4.2.11. Détermination de chrome (Cr).....	28
4.2.12. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	28
4.2.13. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	29
4.2.14. Détermination de l’oxygène dissous.....	29

4.2.15. Détermination de phosphate	29
--	----

Chapitre III:Résultats et Discussions

1.Résultats des analyses	30
Les valeurs moyennes des résultats obtenus sont montrés dans le tableau suivant	30
2. Les paramètres organoleptiques (couleur, odeur).....	30
3. La température	32
4. Les paramètres physico-chimiques	33
4.1. TDS.....	33
4.2. Conductivité.....	34
4.3 .pH:	35
4.4. Sulfates	36
4.5. Matière en suspension.....	37
4.6. Nitrate	38
4.7. Nitrite.....	39
4.9. La demande chimique en oxygène (DCO).....	41
4.10. La demande biochimique en oxygène (DBO5)	42
4.11. Phosphate.....	43
4.12. Chlore libre	44
5. Les métaux lourds.....	45
5.1. Le fer.....	45
5.2. Chrome	46
5.3. Le Zinc.....	47
5.4. Le Cuivre	48
5.5. manganèse.....	49
Conclusion et perspectives	50
Référence bibliographique.....	51

Introduction générale

La pollution des milieux aquatiques constitue un défi environnemental majeur, nécessitant des solutions durables et efficaces pour la dépollution des eaux. Parmi les approches émergentes, la phytoremédiation, qui repose sur l'utilisation de plantes pour absorber, transformer ou stabiliser les polluants, suscite un intérêt croissant. *Phragmites australis*, une plante largement répandue dans les zones humides, est reconnue pour son potentiel de phytoremédiation, notamment dans le traitement des eaux contaminées par des métaux lourds et des nutriments en excès (Rezania et al., 2019).

L'efficacité de *Phragmites australis* dans la phytoremédiation repose sur plusieurs mécanismes, notamment l'absorption des polluants par les racines, leur accumulation dans les tissus végétaux et leur transformation via des processus biologiques. Des études ont démontré que cette plante peut réduire significativement les concentrations de métaux lourds et de nutriments dans les eaux usées, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau (Bouchaala et al., 2025). L'hypothèse centrale de notre travail dit que le *Phragmites australis* joue un rôle essentiel dans la purification des eaux grâce à sa capacité naturelle à absorber et éliminer divers polluants, offrant ainsi une solution écologique et efficace pour restaurer la qualité des milieux aquatiques.

L'objectif de cette étude est de savoir l'efficacité de phytoremédiation des eaux par le *phragmite Australis*, en évaluant divers paramètres physico-chimiques sur une période de quatre semaines, à partir de trois échantillons prélevés dans différentes zones du lac Hamrouch Hamoudi à Skikda. Le premier échantillon est prélevé dans une zone où *Phragmites australis* est vivant, afin d'étudier son rôle dans la purification naturelle de l'eau. Le deuxième échantillon provient d'une zone où *Phragmites australis* est mort, permettant d'examiner l'impact de sa décomposition sur la composition chimique de l'eau.

Enfin, le troisième échantillon, prélevé dans une zone sans présence de *Phragmites australis*, sert de témoin. Il offre ainsi une base de comparaison pour mieux comprendre l'effet de cette plante sur le processus de phytoremédiation et l'amélioration de la qualité de l'eau.

Ce mémoire comprend 3 chapitres :

- une introduction générale sur la pollution des eaux.
- Le premier chapitre du mémoire présente une recherche bibliographique sur la pollution et la phytoremédiation.
- Le deuxième chapitre sera consacré à décrire l'approche méthodologique utilisée pour atteindre l'objectif de l'étude.
- Dans le dernier chapitre, nous exposerons les résultats obtenus lors de la recherche.
- Enfin une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE 1

Etude bibliographique

1. Introduction :

L'eau sursaturée de la vie, doit être préservée de tous dangers et spécialement la pollution de l'eau qui est une crise mondiale croissante affectant directement la santé, le développement économique et la sécurité alimentaire. La pollution et la dégradation de l'eau peuvent être définies par : toutes modifications directes et indirectes de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, la pollution est directement liée aux activités industrielles, agricoles et urbaines. Il peut se présenter sous différentes formes, notamment chimique, mais aussi bactériologique ou thermique, les eaux ou masses d'eau concernées peuvent être douces, saumâtres ou salées, souterraines ou de surface. Il peut même s'agir de la pluie ou des rosées, de neige ou de glace polaire dans ce contexte, cette étude vise à évaluer l'efficacité de *Phragmites australis* dans le traitement des eaux usées (Mekhalif, 2009).

2. les eaux usées :

2.1. Définition :

Les eaux usées sont utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. Ils regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (les eaux usées des usines) (Ahmed & Taleb, 2014).

2.2. Origine des eaux usées :

L'eau, propre et potable à l'origine subit une altération et une dégradation par les multiples usages que l'on en fait dans les habitations, dans les établissements publics et dans les usines.

Les matières ajoutées dans l'eau lors de son utilisation se retrouvent dans les eaux usées soit à l'état dissous soit en suspension, soit à l'état solide.

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées:

- Les eaux domestiques
- Les eaux industrielles
- Les eaux agricoles
- Les eaux de ruissellement (pluviales)(Chelghoum,2023).

2.2.1. Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. Et en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**Chelghoum,2023**).

2.2.2. Les eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques, organiques et métalliques. Elles peuvent également contenir (**Metahri, 2012**).

- Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage).
- Des hydrocarbures (raffineries).
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries).
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Dans certains cas, avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux industrielles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution (**Tarmoul, 2007**).

2.2.3. Les eaux usées agricoles :

Il s'agit de rejets liquides agricoles issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraîne des engrais, des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux.

Il s'agit principalement:

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation).

➤ Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides...etc.) (**Bouaicha & Kilani, 2017**).

2.2.4. Les eaux usées pluviales :

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux etc., et toute sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents... etc) (**Zeghoud Mohamed, 2014**) .

3. Les paramètres de la pollution de l'eau :

L'estimation de la qualité physique et chimique d'une eau ne peut s'effectuer pas la mesure d'un seul, mais d'un ensemble de paramètres de nature diverses. Des résultats anormaux dans le contrôle de paramètres permettent de déceler et d'évaluer les niveaux de pollutions (**CPEPESC, 2022**).

3.1. les paramètres physique:

3.1.1. Matière en suspension (MES):

On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluant, micro-organismes,...) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) et s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique. En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux (**Morin-Crini et al., 2009**).

3.1.2. Température :

La température en°C est un paramètre général également important. Réglementairement, les eaux usées, autres que domestiques, doivent être ramenées à une température inférieure à 30 C° (**Morin-Crini et al.,2009**).

3.2. Les paramètres chimiques :

3.2.1. Le potentiel hydrogène (pH):

Le PH est un paramètre général important de l'eau, qui dépend de la température. À l'équilibre, le pH est relié à l'activité des protons aH par la relation $pH = -\log_{10}aH$. On

considère sa mesure comme la résultante de tous les couples acido-basiques présents dans l'eau (c'est donc également un paramètre de somme) (Morin-Crini et al.,2009).

3.2.2. La conductivité :

L'ensemble des électrolytes présents dans une solution conditionne sa conductivité électrique et traduit ainsi sa minéralisation totale. La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Par exemple, une eau douce (Faiblement calcaire) accusera une conductivité basse ; au contraire, une eau dite dure (fortement calcaire) affichera une conductivité élevée. La conductivité permet ainsi d'évaluer la quantité de substance minérale dissoute sous forme ionique (elle est globalement proportionnelle à la teneur en sels dissous).

Plus la concentration en solutés dissous sera importante, plus la conductivité sera élevée. La conductivité donne donc une information sur la quantité de cations (calcium, potassium, magnésium, etc.) et d'anions (chlorures, sulfates, phosphates, nitrates, etc.) contenus dans une solution (c'est donc un paramètre de somme). C'est un moyen rapide et peu coûteux pour déterminer la force ionique d'une solution. L'unité habituelle de la conductivité est le siemens (S) ou le microsiemens (μ S) (Morin-Crini et al.,2009).

3.2.3. L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous dans l'eau est indispensable à toute forme de vie aquatique. Il provient principalement de l'atmosphère et de la photosynthèse des algues. La teneur s'exprime en mg L⁻¹ ou en pourcentage de saturation en oxygène.

L'oxygène dissous est également un paramètre important pour les industriels qui ont choisi un traitement biologique de leurs eaux usées (secteurs papetiers, agroalimentaires, etc.) (Morin-Crini et al., 2009).

3.2.4. Demande biochimique en oxygène :

La demande biochimique en oxygène sur cinq jours ou DBO₅ est également un paramètre de somme couramment utilisé pour caractériser une eau (normes NF EN 1899, NF T 90-103), et notamment les eaux de STEP ou de lagunage industriel. Plus précisément, elle permet de quantifier la fraction de matière organique biodégradable (MOB) présente dans l'eau (matières biochimiquement dégradables). Plus la quantité en composés biochimiquement

oxydables sera alors importante, plus la valeur de la DBO sera élevée (**Morin-Crini et al.,2009**).

3.2.5. Demande chimique en oxygène:

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène dissous qui doit être présente dans l'eau pour oxyder les matières organiques chimiques, comme le pétrole. La DCO est utilisée pour évaluer l'impact à court terme des effluents d'eaux usées sur les niveaux d'oxygène des eaux réceptrices (**HACH, s.d**).

3.2.6. Nitrite (NO₂-) :

Le premier stade de la nitrification. Sa présence représente un danger, car elle empêche les échanges gazeux au niveau des ouïes et surtout le passage de l'oxygène. Des concentrations de **0.5mg/l** freinent déjà ces échanges gazeux. La valeur idéale est de **0mg/l** sans jamais dépasser **0.1mg/l** (**KoiConnect, s.d**).

3.2.7. Nitrate (NO₃) :

Le nitrate est le dernier stade de la nitrification. Sa présence n'est pas dangereuse pour les poissons mais une concentration importante **>50 mg/l** peut freiner la croissance des poissons (**KoiConnect, s.d**).

3.2.8. Les métaux lourds:

On appelle les métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse **5mg/cm³**. ceux-ci sont présents la plus souvent dans l'environnement sous forme de traces:

mercure,plomb,cadmium,cuivre,arsenic,nickel,zinc,cobalt,manganèse,fer...(CT Groupe, s.d).

4. Les normes de rejet selon l'OMS :

L'organisation mondiale de la santé (OMS) est considérée comme la plus haute autorité dans le domaine de la santé et donne des recommandations au niveau mondial. Elle propose des normes sanitaires depuis des décennies et elle est en passe de les modifier pour les rendre plus sévères et diminuer les risques sanitaires. Ces normes (Tableau 01) sont destinées à une utilisation internationale et sont adaptées aux en voie de développement (**Rotbardt, 2011**).

Tableau 01 : Normes de rejet des eaux usées (OMS, 2005).

Caractéristiques	Normes	Unités
pH	6.5-8.5	-
Température	<30	C°
DBO5	<30	mg/l
DCO	<90	mg/l
MES	<20	mg/l
NH+4	<0.5	mg/l
NO2	1	mg/l
NO3	<1	mg/l
P2O5	<2	mg/l
Couleur	Incolore	-
Odeur	Inodore	-

5. Les normes nationales de rejet :

Selon le journal officiel (1993), les normes de rejet national sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 02 : valeurs limitées maximales des paramètres de rejets des installations de déversement industrielles (JORA, 1993).

Paramètres	Valeurs maximales	Unité
DBO5	35	mg/l
DCO	120	mg/l
MES	35	mg/l
Azote total	50	mg/l
Phosphate	2	mg/l
Phosphate total	10	mg/l
Température	30	C°
pH	6.5-8.5	-

6. La Phytoremédiation :

La phytoremédiation est une méthode écologique.

6.1. Définition :

La phytoremédiation est l'ensemble des technologies utilisant le métabolisme des plantes pour accumuler, transformer, dégrader, concentrer, stabiliser ou volatiliser des polluants (molécules organiques et inorganiques, métaux et radionucléides) contenus dans les sols ou les eaux contaminées (Amélie lorec et al., 2016).

6.2. Les techniques de la phytoremédiation :

La phytoremédiation regroupe plusieurs techniques utilisant les plantes pour dépolluer les sols, l'eau et l'air des contaminants organiques et inorganiques (Amélie lorec et al., 2016).

Voici les principales techniques :

6.2.1. Phytovolatilisation :

C'est la transformation et la dégradation de certains types de polluants en éléments volatils moins toxiques, qui sont ensuite libérés dans l'atmosphère par transpiration de la plante. Polluants concernés : quelques composés organiques et métaux (sélénium, mercure)

(Amélie lorec et al., 2016).

6.2.2. Phytodégradation :

Absorption et décomposition des contaminants par la libération d'enzymes et par des processus d'oxydation et de réduction.

Les polluants dégradés sont donc moins toxiques, sont ensuite incorporés dans la plante ou libérés de nouveau dans le sol.

Polluants concernés : composés organiques (pesticides, hydrocarbures, explosifs...)

(Amélie lorec et al., 2016).

6.2.3. Phytostabilisation :

Absorption et séquestration (ou immobilisation dans le cas de la rhizofiltration) des polluants au niveau des racines (rhizosphère) pour réduire leur dispersion par le vent ou leur lessivage par les eaux de pluie et limiter par conséquent leur migration et leur entrée dans la chaîne alimentaire ou les nappes phréatiques.

Polluants concernés : radioéléments comme l'uranium (Amélie lorec et al., 2016).

6.2.4. Phytoextraction :

Extraction, transport et accumulation des polluants dans les tiges et les feuilles. Les plantes sont dites accumulatrices.

Les feuilles, ou la plante entière sont alors récoltées par des techniques agricoles puis brûlées dans des usines. Les polluants sont concentrés dans les cendres et les filtres qui sont ensuite traités comme des déchets de haute activité, notamment en cas de pollution nucléaire.

Polluants concernés : métaux (cuivre, or, zinc) et radioéléments (césium, strontium) (Amélie lorec et al., 2016).

6.3. Comparaison entre la technique classique de traitement des eaux et la phytoremédiation :

Tableau 03: Comparaison entre la technique classique de traitement des eaux et la phytoremédiation (Salt et al.,1998 ; pilon-smits et al.,2005 ; ali et al.,2013 ; raskin et al., 2000 ; kan et al.,2000).

Critère	Technique Classique de Traitement des Eaux	Phytoremédiation
Processus	Filtration, coagulation-floculation, sédimentation, désinfection (chlore, UV), osmose inverse, etc.	Utilisation de plantes pour absorber, accumuler, dégrader ou stabiliser les contaminants.
Efficacité	Très efficace pour une large gamme de contaminants (pathogènes, métaux lourds, composés organiques).	Efficace pour certains contaminants (métaux lourds, nutriments), moins pour les pathogènes ou toxiques.
Coûts	Élevés (infrastructures complexes, énergie, produits chimiques).	Généralement moins élevés (moins d'infrastructure, processus naturels).
Impact Environnemental	Peut générer des sous-produits chimiques indésirables et nécessite une gestion des boues résiduelles.	Plus écologique, améliore la biodiversité, mais nécessite une gestion des plantes contaminées.

Applications	Stations d'épuration municipales et industrielles, traitement de grands volumes d'eau.	Traitement des eaux usées domestiques, eaux pluviales, restauration des zones humides, sites isolés.
Temps de Traitement	Rapide (processus industriels et chimiques).	Plus lent (dépend de la croissance des plantes et des processus naturels).
Durabilité	Moins durable en raison de la consommation d'énergie et des produits chimiques.	Plus durable et respectueuse de l'environnement.

6.4. Les avantages et les limites de la phytoremédiation :

La phytoremédiation présente de nombreux avantages, mais comporte aussi certaines limites (Amélie lorec et al., 2016).

6.4.1. Les avantage :

- Faible coût de traitement (10 à 100 fois inférieur aux technologies classiques)
- Adaptation aux grandes surfaces contaminées (décontamination à large échelle)
- Récupération des polluants
- Conversion possible de la biomasse en énergie
- Technologie visuellement attractive
- Faible perturbation des milieux contaminés
- Technologie verte ayant une bonne image auprès du public (Amélie lorec et al., 2016).

6.4.2. Les limites :

- Limitation aux surfaces colonisables par les racines
- Temps de traitement très long (minimum 3 ans)
- Dépendance de la nature du sol, de la météorologie, des attaques d'insectes, des micro-organismes.
- Besoin de grandes surfaces et d'une pollution peu profonde (de 50 cm à 3 m)
- Application limitée aux contaminations modérées pour que la plante survive (**Amélie lorec et al., 2016**).

CHAPITRE 2

Matériel et Méthodes

1. Présentation de la wilaya de Skikda :

Skikda, anciennement Philippeville pendant la période coloniale française, est une commune algérienne située en bordure de la mer Méditerranée, à 471 km à l'est d'Alger.

1.1 Localisation géographique :

Selon la carte des monographies des wilayas publiée par le **Ministère de l'Intérieur (2021)**, la wilaya de Skikda (**figure 01**) s'étend sur une superficie de 4.118 km², se situe dans la partie Nord-est du pays, elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Ouest par la wilaya de Jijel, au sud par les Wilayas de Constantine, de Mila et de Guelma et à l'Est par la Wilaya de Annaba.



Figure 01: Carte satellite montre la situation géographique de la wilaya de Skikda (Google Map).

1.2 Le réseau hydraulique de la wilaya de Skikda :

Particulièrement dense, est dû à l'humidité du climat, à la pente et à la présence de terrains de faible perméabilité, ce qui favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration.

Les potentialités hydrauliques de la wilaya sont constituées de trois (03) types de ressources en eau : superficielles, souterraines et sources.

1.2.1 Les ressources souterraines :

Les ressources en eaux souterraines (forages et puits) dont le volume est estimé à 87115 Hm³ se localisent dans les nappes alluviales des oueds de la wilaya (le Kébir, l'oued Saf-Saf, le Guebli, le Bibi côtier, le Fil-Fila et le côtier de Bougaroun).

1.2.2 Les ressources superficielles :

L'importante pluviométrie et le relief montagneux de la wilaya sont autant d'apport à l'hydrologie.

Les infrastructures de mobilisation (barrages de Zerdazas, de Bekkouche Lakhdar, d'Oum Toub et de Béni Zid d'une capacité totale de 290,667 hm³ auxquels s'ajoutent les deux stations de dessalement) ont permis, pour l'année 2017 que l'exploitation de 613,007 hm³ d'eau. Quant aux retenues collinaires (au nombre de 12), leur capacité n'avoisine que 01,25 hm³. Plusieurs procédés ont été initiés afin de rendre la ressource hydrique plus disponible, il s'agit en fait : Du dessalement de l'eau de mer au biais de deux unités de dessalement l'une située au niveau de Ben M'hidi et l'autre au niveau de la zone industrielle. Ces deux stations arrivent à produire 103.500 m³/jour et desservent actuellement la ville de Skikda et de ses environs en eau potable.

La déminéralisation des eaux saumâtres sert à l'alimentation de la zone industrielle, ces eaux sont produites par les stations de déminéralisation à hauteur de 4.000 m³/jour. L'épuration des eaux usées est réalisée au biais de stations d'épuration et est exclusivement destinée à l'agriculture de la plaine du Saf-Saf (**Ministère de l'intérieur, 2021**).

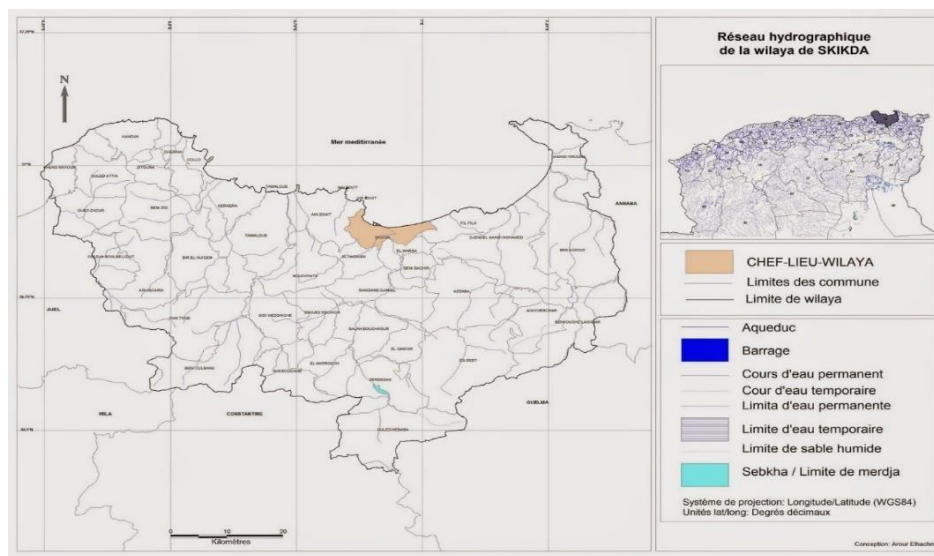


Figure 02: Carte du réseau hydrographique (**Découpage administratif de l'Algérie & Monographie**).

1.3. Données climatiques de la région de Skikda (Janvier 2025 – Avril 2025):

La région de Skikda, située sur la côte nord-est de l'Algérie, est caractérisée par un climat méditerranéen, marqué par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. L'analyse des données climatiques entre janvier 2025 et avril 2025 permet de mieux comprendre les conditions environnementales durant la période de l'étude.

- Janvier 2025 : La température moyenne mensuelle était de 14 °C. Les températures maximales ont atteint 17 °C et les minimales sont descendues à près de 10 °C. Les précipitations ont été relativement abondantes avec un total estimé à 140 mm, confirmant la nature humide de l'hiver dans la région.
- Février 2025 : Ce mois a connu une moyenne thermique stable à 14 °C, avec des pointes allant jusqu'à 20 °C et des minimales autour de 9 °C. Les précipitations ont été modérées, totalisant 18 mm, avec un maximum journalier de 5 mm.
- Mars 2025 : Mars a enregistré une température moyenne de 16 °C, avec des maximales atteignant 23 °C. Les températures minimales sont restées autour de 10 °C. Les précipitations mensuelles ont totalisé 56 mm, avec un pic de 40 mm en une seule journée.
- Avril 2025 : Le mois d'avril a présenté une moyenne thermique de 17 °C. Les températures maximales ont atteint 23 °C, tandis que les minimales sont restées autour de 11 °C. Les précipitations sont restées faibles, avec un total de 19 mm sur le mois (**Météo Skikda, 2025**).

2. Étude de la zone d'échantillonnage :

Avant de procéder à l'analyse des résultats, il est essentiel de présenter la zone d'étude dans laquelle les échantillons ont été prélevés.

2.1. Localisation géographique :

La zone d'échantillonnage est localisée dans la wilaya de skikda ; au niveau du village Hamrouche hammoudi rattaché à la commune de Hamadi Krouma .

Le site étudié correspond à un petit lac naturel situé dans la périphérie sud-est de la ville, dans une zone périurbaine proche de la zone industrielle de Skikda.

Le lac est identifié par le code plus RXX5+M69 Skikda et situé approximativement aux coordonnées géographiques 36.849° N, 6.958° E (**Google maps**).



Figure 03: Localisation de la zone d'étude à Hamrouche Hammoudi (Skikda) vue satellite via Google Maps.

2.2. Caractéristiques environnementales locales du site de Hamrouche Hammoudi :

Le site d'étude est situé dans une zone humide temporaire de la commune de Hamrouche Hammoudi. À l'origine, ce plan d'eau était principalement alimenté par les eaux de pluie, formant un petit lac saisonnier à faible profondeur. Cependant, avec l'expansion progressive des habitations environnantes, plusieurs conduites domestiques ont été endommagées et détournées vers le lac, modifiant considérablement la nature de l'eau. Aujourd'hui, l'origine de l'eau est majoritairement domestique, résultant de rejets directs provenant des habitations proches.



Figure 04: Le lac de Hamrouche Hammoudi (photographie personnelle)

Par ailleurs, une partie de l'eau du lac est utilisée à des fins agricoles, notamment par un exploitant local qui la prélève pour irriguer ses parcelles forestières adjacentes. Cette double influence — domestique et agricole — engendre un enrichissement du milieu en nutriments (azote, phosphore) et potentiellement en agents pathogènes ou résidus chimiques. Cela fait de ce plan d'eau un exemple typique de zone humide altérée par les activités humaines, tout en conservant une végétation aquatique indigène, notamment les *Phragmites australis*, présents à différents stades de développement (roseaux verts, desséchés, absents).

2.3. Justification du choix du site:

Le choix du site de Hamrouche Hammoudi s'appuie sur plusieurs critères essentiels liés à la faisabilité, à l'intérêt écologique et à la pertinence scientifique. D'une part, il s'agit d'un site facilement accessible, ce qui facilite la réalisation des prélèvements réguliers sans contraintes logistiques importantes, contrairement à d'autres sites potentiellement plus éloignés ou difficiles d'accès.

D'autre part, ce site présente une origine d'eau principalement domestique, en raison de rejets ménagers infiltrés dans le lac via des conduites cassées, ainsi qu'une utilisation agricole modérée (eau prélevée pour irriguer des parcelles voisines). Cette double pression anthropique rend l'eau particulièrement propice à une étude de phytoremédiation, car les plantes comme *Phragmites australis* sont connues pour leur capacité à absorber ou filtrer les nutriments, métaux lourds et composés organiques issus de ces sources (Vymazal, 2011 ; Brix, 1997).

Un autre critère de sélection est la nature du plan d'eau lui-même : il s'agit d'un lac à eau stagnante ou faiblement courante, ce qui favorise l'action prolongée des plantes sur l'eau. Contrairement à un oued ou un cours d'eau à fort débit, l'eau d'un lac offre un temps de contact plus long entre les polluants et les plantes épuratrices, ce qui améliore l'efficacité de la dépollution naturelle (Kadlec & Wallace, 2009).

Enfin, le site présente une diversité de conditions végétatives : il regroupe des zones où le *Phragmites australis* est vivant, d'autres où il est desséché, ainsi qu'une zone dépourvue de végétation, ce qui permet une comparaison rigoureuse de l'effet de la plante selon sa.

Localisation des points d'échantillonnage: Afin de visualiser la répartition spatiale des points de prélèvement, une carte de localisation a été réalisée. Celle-ci permet de situer précisément les différents sites d'échantillonnage autour du lac de Hamrouche Hammoudi (wilaya de Skikda). Les points ont été choisis en fonction de la présence ou non de roseaux (*Phragmites australis*) et de leur état (vif ou mort), dans le but d'évaluer leur effet potentiel sur la qualité de

l'eau. Les coordonnées géographiques (latitude et longitude) des points d'échantillonnage sont présentées dans le tableau ci-dessous (Google Earth, 2025).

Tableau 04: Coordonnées géographiques des points d'échantillonnage

Nom du point	Description	Latitude	Longitude
Roseau mort	Roseau sec ou mort	36,8479482	6,9574980
Roseau vif	Roseau vif et actif	36,8489985	6,9574507
Roseau absent	Zone sans roseau	36,8486742	6,9578098

La carte ci-dessous présente la localisation des trois points d'échantillonnage utilisés pour cette étude, cartographiée à l'aide de Google Earth (2025). Cette carte permet de visualiser précisément les sites de prélèvement et d'analyser les variations spatiales de la qualité de l'eau.



Figure 05 : Carte de localisation des points d'échantillonnage (Google earth, 2025).

2.4. Sélection des points d'échantillonnage:

Trois points d'échantillonnage ont été sélectionnés stratégiquement afin de comparer l'influence des *Phragmites australis* selon leur état ou leur absence. Le choix a été fait comme suit :

Point 1 : Échantillon prélevé à proximité immédiate d'un roseau vivant (*Phragmites australis* à tiges vertes), représentant la situation optimale de phytoremédiation.

Point 2 : Échantillon prélevé à côté d'un roseau mort (tiges sèches et jaunes), permettant d'évaluer si la plante conserve un effet épurateur une fois desséchée.

Point 3 : Échantillon témoin, prélevé dans une zone du lac sans présence visible de roseau, servant de référence pour mesurer l'effet de la plante par comparaison.



Figure 06: Les points de prélèvements des échantillons(**photographie personnelle**).

Cette approche permet d'évaluer non seulement l'effet des roseaux vivants sur la qualité de l'eau, mais aussi de comparer leur efficacité potentielle à celle des plantes mortes, voire à l'absence totale de végétation. Cela permet une analyse comparative fine et contextualisée.

3. Présentation du *Phragmites australis* :

Phragmites australis est une espèce cosmopolite, c'est-à-dire qu'on la retrouve dans toutes les régions du monde ou presque. Les roselières constituent un extraordinaire réservoir pour la faune. De plus, elles jouent un rôle écologique dans la rétention des sédiments et dans l'épuration des eaux.

Cependant, depuis plusieurs années, on peut remarquer une évolution graduelle du phragmite commun. En particulier dans les zones humides, comme en bordure des routes. Ces plantes ayant une croissance rapide et aucun prédateur, elles prennent tout l'espace qui lui est possible. Les roseaux étaient et sont toujours utilisés localement, dans la constitution de murs et toitures des maisons et pour fournir de la litière aux animaux.

Le *phragmites australis* fait partie des plantes épuratrices d'eau, de plus il offre un abri très apprécié par toute la faune aquatique. Il est aussi largement utilisé dans les stations d'épurations pour filtrer l'eau naturellement (phytoépuration) (**Siahvy,s.d.**) .

3.1. Description biologique du *Phragmites australis* :

Parmi les espèces végétales utilisées pour la phytoremédiation, *Phragmites australis*, communément appelé roseau commun, occupe une place importante grâce à sa large distribution et à sa grande capacité d'adaptation.

3.1.1. Classification taxonomique :

Embranchement : Magnoliophyta

Classe : liliopsida

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Poales

Famille : Poaceae

Genre : *Phragmites*

Espèce : *australis*

(Corolla & kupfer,2019)

3.1.2. La morphologie :

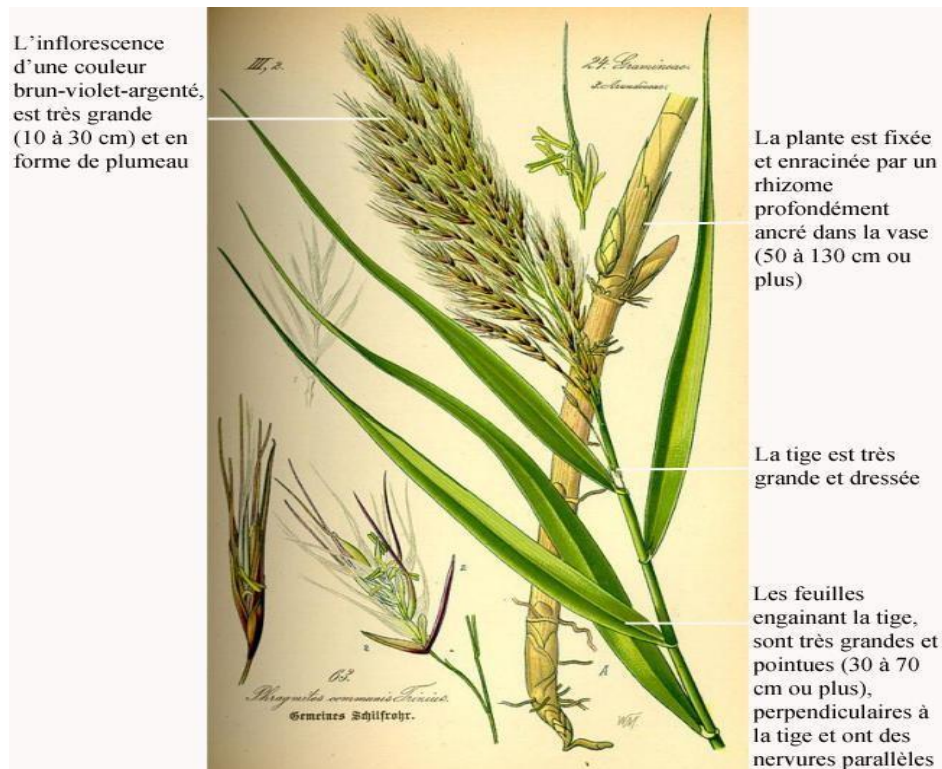


Figure 07: planche naturaliste de *phragmites australis* (doris,2019).

3.1.3 .Reproduction – Multiplication :

Plante hermaphrodite et vivace. La reproduction est majoritairement asexuée.

➤ Reproduction sexuée

La floraison se produit d'août à octobre (parfois novembre). La pollinisation se fait par le vent (anémogame).les grains sont également dispersés par le vent (anémochore). Peu d'entre-elles sont viables.

➤ Reproduction asexuée : Par le rhizome et par des stolons. Si les conditions sont favorables, un stolon peut s'étendre de plus de cinq mètres par an (Corolla & kupfer, 2019).

3.2. Description écologique du *Phragmites australis* :

3.2.1. Habitat et répartition :

Cette espèce colonise les marais, les berges des rivières et des lacs, ainsi que les lagunes côtières. Elle tolère une large gamme de conditions hydriques, de l'eau douce aux milieux légèrement saumâtres (Brix, 1994).

3.2.2. Sol et conditions de croissance :

Elle prospère dans des sols riches en matière organique, limoneux ou vaseux, mais peut également s'adapter à des substrats plus sableux ou argileux (Weisner & Ekstam, 1993).

3.2.3. Rôle écologique du *phragmites australis* :

➤ Stabilisation des sols : Ses rhizomes denses empêchent l'érosion des berges et améliorent la structure des sols.

➤ Épuration des eaux : Grâce à son système racinaire étendu, elle absorbe et filtre les polluants, notamment les métaux lourds et l'azote, favorisant la phytoremédiation (Vymazal, 2011).

➤ Biodiversité : Elle fournit un habitat essentiel pour les oiseaux aquatiques, les amphibiens et divers invertébrés (Minchinton & Bertness, 2003).

4. Matériels et méthodes d'analyse:

4.1. Mode d'échantillonnage de l'eau (méthode, matériel, stockage...) :

4.1.1. Calendrier d'échantillon :

Tableau 05: calendrier d'échantillonnage

Date de prélèvement	Heure de prélèvement	Température	La profondeur	Conditions climatiques
15/04/2025	18 :18	7 C°	15 cm	Temps couvert
22/04/2025	18 :15	9 C°	18 cm	Temps clair
29/04/2025	18 :05	8 C°	20 cm	Temps couvert
06/05/2025	17 :55	10 C°	24 cm	Temps clair

4.1.2. Matériels de prélèvement :

- MAPS
- Ribon mètre
- Bouteilles en plastiques 1L
- Étiquettes
- Stylo + cahier
- Thermomètre
- Glacière + glaçons
- Les gants
- Seau + corde
- Manche de baller

4.1.3. Méthode de prélèvement :

L'échantillonnage a été réalisé manuellement à l'aide de bouteilles en plastique propres d'une capacité de 1L, choisies pour leur facilité de manipulation et leur compatibilité avec les analyses prévues. Avant chaque prélèvement les bouteilles ont été soigneusement rincées trois fois avec l'eau du site afin de minimiser tout risque de contamination (**leres.ehesp.fr**).

Les points de prélèvement ont été sélectionnés selon des critères bien définis :

Un point où il n'y a pas de réseau

Un point près d'un réseau vif

Un point près d'un réseau mort

Les prélèvements ont été effectués à une profondeur d'environ 20 cm sous la surface de l'eau a été mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre numérique au moment du prélèvement.

Chaque échantillon a été immédiatement étiqueté : date, heure, point d'échantillonnage, température.

4.1.4. Stockage d'échantillon :

Après le prélèvement, les bouteilles contenant les échantillons d'eau ont été immédiatement placées dans une glacière isotherme contenant des glaçons, afin de maintenir une température proche de 4 °C durant le transport. Cette précaution vise à limiter les réactions biologiques et chimiques pouvant altérer la qualité de l'eau avant l'analyse. Les échantillons ont été conservés dans des conditions réfrigérées jusqu'à leur traitement. Les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les 24 heures suivant le prélèvement conformément aux

normes recommandées pour la conservation des paramètres sensibles (Hébert & Légaré, 2000).



Figure 08: Stockage des échantillons dans une glacière (photographie personnelle).

4.2. Méthodes d'analyses :

4.2.1. Détermination du pH, conductivité, température, TDS :

- La mesure des paramètres de base tels que le pH, la conductivité électrique, la température et les solides dissous totaux (TDS) a été effectuée à l'aide d'un pH-conductimètre de paillasse.
- Les électrodes ont été soigneusement nettoyées avant chaque utilisation, et les mesures ont été réalisées sous agitation magnétique, conformément à la norme ASTM D6293 (2020).



Figure 09: pH-conductimètre de paillasse (photographie personnelle)

4.2.2. Détermination de MES:

Les MES ont été mesurées par spectrophotométrie à l'aide du modèle **DR2800** selon la méthode **HACH 8006 (2012)**. Après agitation de l'échantillon, une portion a été transférée dans

une cellule pour lecture, en comparaison avec un blanc préparé avec de l'eau ultra-pure. Le résultat est exprimé en mg/l.

4.2.3. Détermination de Cuivre (Cu) :

- Le cuivre a été analysé à l'aide du spectrophotomètre et du réactif CuVer1, suivant la méthode **HACH 8506 & 8026 (2012)**. Chaque échantillon a été mélangé avec le réactif, incubé pendant 2 minutes, puis comparé à un blanc. Les mesures ont été effectuées dans les 30 minutes suivant la réaction. Les résultats sont exprimés en mg/l Cu.

4.2.4. Détermination de Fer (Fe) :

- La concentration en fer a été déterminée également par spectrophotométrie, en utilisant le réactif FerroVer, selon la méthode **HACH 8008 (2012)**. Une réaction colorée (orange) indique la présence de fer. Après une période de réaction de 3 à 5 minutes, l'échantillon est comparé à un blanc. Le résultat est obtenu en mg/l Fe.



Figure 10: Détermination de Fer par spectrophotomètre (photographie personnelle)

4.2.5. Détermination de chlore libre (Cl₂) :

L'analyse du chlore libre a été réalisée à l'aide du spectrophotomètre selon la méthode **HACH 8021 (2012)**. Le réactif utilisé est une pochette de poudre DPD. Après l'ajout du réactif dans l'échantillon, une coloration rose indique la présence de chlore libre. La lecture est effectuée dans la minute suivant la réaction, en comparaison avec un blanc. Le résultat est exprimé en mg/l Cl₂ .

4.2.6. détermination de zinc (Zn) :

La concentration en zinc a été mesurée par spectrophotométrie à l'aide du réactif ZincoVer 5, suivant la méthode **HACH 8009 (2012)**. L'échantillon est d'abord traité dans une éprouvette avec le réactif, puis complété avec du cyclohexane. Après agitation et périodes de réaction (30 secondes puis 3 minutes), l'échantillon est comparé à un blanc. La coloration (rouge-orange, brune ou bleue) varie selon la concentration. Les résultats sont exprimés en mg/l Zn.

4.2.7. Détermination de nitrate (NO₃⁻) :

Les nitrates ont été analysés à l'aide d'un spectrophotomètre en utilisant la méthode **HACH 8192 (2012)**. L'échantillon a été traité avec deux types de réactifs NitraVer dans une éprouvette, puis transféré dans une cuve. Une série de réactions chronométrées (3 min, 2 min, 30 s, puis 15 min) a permis le développement d'une coloration rose, proportionnelle à la concentration en nitrate. Les résultats sont exprimés en mg/l NO₃⁻.



Figure 11: Pochette de réactif de NitraVer (photographie personnelle)

4.2.8. Détermination de nitrite (NO₂⁻) :

La mesure des nitrites a été réalisée selon la méthode **HACH 8507 (2005)** avec un spectrophotomètre et le réactif NitriVer 3. L'échantillon réagit pendant 20 minutes après ajout du réactif. Une coloration rose se forme en présence de nitrites. Un blanc est préparé pour l'étalonnage. La lecture finale donne la concentration en mg/l NO₂⁻ N.

4.2.9. détermination de sulfate (SO₄²⁻) :

Les sulfates ont été mesurés par spectrophotométrie en utilisant le réactif SulfaVer 4, selon la méthode **HACH 8051 (2012)**. L'ajout du réactif dans l'échantillon provoque une

turbidité blanche indicative de la présence de sulfates. Après 5 minutes de réaction sans agitation, la lecture est effectuée en mg/l SO_4^{2-} à l'aide d'un blanc pour l'étalonnage.

4.2.10. Détermination de manganèse (Mn):

Le manganèse est déterminé par spectrophotomètre en utilisant un tampon citrate et du périodate de sodium comme réactifs, méthode **HACH 8034 (2005)**. Une coloration violette signale la présence de manganèse. Après 2 minutes de réaction, la lecture est réalisée dans les 8 minutes qui suivent, en mg/l Mn .

4.2.11. Détermination de chrome (Cr):

- La teneur en chrome hexavalent (Cr^{6+}) est mesurée par spectrophotomètre selon la méthode **HACH 8023 (2005)**, à l'aide du réactif ChromaVer 3. Après une réaction de 5 minutes, une coloration se développe, et l'échantillon est comparé à un blanc. Le résultat est exprimé en mg/l Cr^{6+} .

4.2.12. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅):

- La DBO_5 a été mesurée à l'aide de l'incubateur BODTrak selon la méthode **HACH 10099 (2015)**. Après ajustement de la température à 20°C , l'échantillon est introduit dans des flacons avec un tampon nutritif et un absorbeur de CO_2 . L'incubation dure 5 jours. Le BODTrak suit la consommation d'oxygène par pression manométrique. Les résultats sont exprimés en mg/l O_2 .



Figure 12: Détermination de DBO₅ par l'incubateur (photographie personnelle)

4.2.13. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO):

La DCO est déterminée par voie colorimétrique avec un thermoréacteur DRB200 et un spectrophotomètre DR2800, selon la méthode **HACH 8000 (2012)**. L'échantillon est oxydé par des réactifs spécifiques à 150 °C pendant 2 heures, puis mesuré après refroidissement. La lecture se fait par comparaison à un blanc et les résultats sont exprimés en mg/l O₂ .



Figure 13: Un thermoréacteur DRB200 (photographie personnelle)

4.2.14. Détermination de l'oxygène dissous:

L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un oxymètre selon la méthode **HACH 8166 (2012)**. L'échantillon est introduit dans une ampoule AccuVac et agité, puis une réaction de 2 minutes est observée. La mesure s'effectue ensuite par spectrophotométrie après étalonnage sur un blanc. Le résultat est exprimé en mg/l O₂ .

4.2.15. Détermination de phosphate :

Les phosphates ont été dosés par méthode colorimétrique avec un spectrophotomètre, selon la méthode **HACH 8048 (2012)**. Après ajout du réactif PhosVer 3, une coloration bleue se développe. La lecture est effectuée à une longueur d'onde de 890 nm. Les concentrations sont exprimées en mg/l PO₄³⁻ .

CHAPITRE 3

Résultats et Discussion

1. Résultats des analyses:

Les valeurs moyennes des résultats obtenus sont montrés dans le tableau suivant

Tableau 06: représente les moyennes des résultats des analyses dans quatre semaines :

Paramètres	Ech1(phragmite mort)	Ech2(phragmite vif)	Ech3(phragmite absent)
Température	9.25°C	7.75°C	10.75 °C
Conductivité	950.5 µS/cm	995.5 µS/cm	1006.5 µS/cm
TDS	544.25 mg/l	559.25 mg/l	571.5 mg/l
Sulfate	37.5mg/l	24.5mg/l	29.75mg/l
Nitrate	0.15mg/l	0.07mg/l	0.095mg/l
Nitrite	0.121mg/l	0.039mg/l	0.063mg/l
pH	7.1	7.39	7.52
Cl libre	1.12mg/l	0.46mg/l	0.74mg/l
MES	131mg/l	52mg/l	60.75mg/l
Chrome	0.116mg/l	0.049mg/l	0.231mg/l
DBO5	38.5mg/l	19.75mg/l	22.5mg/l
DCO	7.55mg/l	6.24mg/l	7.7mg/l
Phosphate	6.62mg/l	4.89mg/l	5.44mg/l
O2 dissous	4.14mg/l	4.86mg/l	10.9mg/l
Fer	1.19mg/l	0.25mg/l	0.82mg/l
Zinc	0.66mg/l	0.302mg/l	0.367mg/l
Cuivre	0.785mg/l	0.505mg/l	1.0025mg/l
Manganèse	0.9mg/l	0.21mg/l	0.63mg/l

2. Les paramètres organoleptiques (couleur, odeur) :



Figure 14 : Observation de la couleur des échantillons (photographie personnelle).

Tableau 07: tableau descriptif de la couleur et d'odeur des échantillons

Echantillon	Couleur (visuelle)	Odeur
Phragmite mort	Foncée, brunâtre	Odeur marquée d'algue/lac
Phragmite vif	Très claire, presque incolore	Légère, naturelle
Zone sans phragmite	Moyennement colorée jaunâtre	Odeur modérée

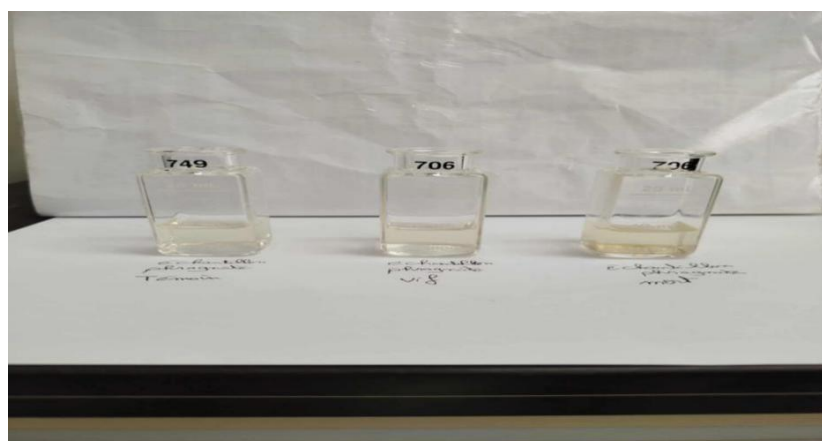
Les observations ont été faites à l'œil nu dans des cuves identiques de 25 ml, en respectant la loi de Beer-Lambert (Rodier et al., 2017).

L'observation visuelle montre une nette différence de teinte entre les trois échantillons. L'échantillon prélevé à proximité des *Phragmites australis* vivants présente une eau claire, traduisant une meilleure qualité et une possible rétention des matières organiques colorantes par la plante (Rodier et al., 2017).

En revanche, l'échantillon proche du roseau mort est plus foncé, ce qui peut s'expliquer par la libération progressive de polluants et de composés organiques initialement fixés dans les tissus du phragmite après sa mort (Zhang et al., 2014).

Le témoin, situé dans une zone sans roseaux, montre une couleur intermédiaire.

Cette observation suggère que l'absence de phragmites n'améliore pas la qualité de l'eau, mais au moins, ne contribue pas à sa dégradation comme le cas du phragmite mort.

**Figure 15 :** Observation des échantillons (photographie personnelle).

L'odeur suit la même tendance :

L'échantillon près du roseau mort dégage une odeur plus forte rappelant les milieux stagnants riches en algues, tandis que l'échantillon près du phragmite vif présente une odeur discrète et naturelle, ce qui soutient encore l'efficacité de la plante vivante dans la rétention des substances organiques odorantes.

3. La température:

Les résultats montrent une légère variation de la température entre les trois points de prélèvement. L'eau située dans la zone témoin (sans roseaux) est la plus chaude (10.75 °C), tandis que celle à proximité du phragmite vif est la plus froide (7.75 °C).

Ces différences peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs environnementaux, notamment la couverture végétale, l'ombrage naturel, et la structure des berges. Les roseaux vivants, en particulier, peuvent offrir un léger effet de régulation thermique, en ombrageant l'eau et en réduisant l'exposition directe aux rayons solaires (Vymazal, 2011). Cela pourrait expliquer pourquoi l'eau autour des phragmites vivants est légèrement plus fraîche que celle de la zone témoin.

Même si la température ne constitue pas à elle seule un indicateur direct de pollution, elle influence fortement la solubilité de l'oxygène, l'activité bactérienne, et donc l'efficacité des processus de dépollution naturelle (Rodier et al., 2017). Une température plus stable, comme dans les zones à phragmites, pourrait donc favoriser des conditions plus propices à la biodégradation.

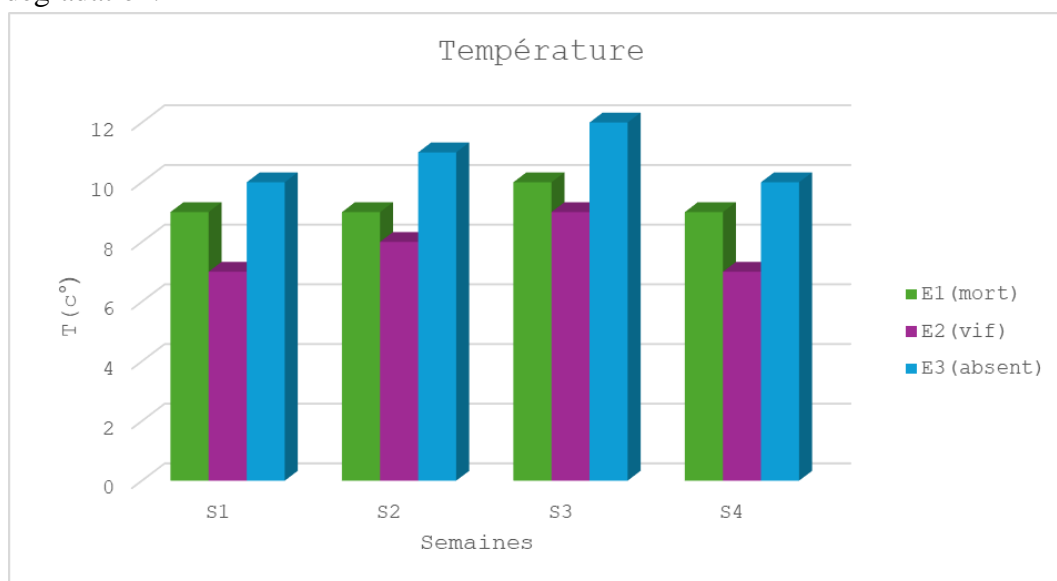


Figure 16: Histogramme représentatif des variations de température

4. Les paramètres physico-chimiques:

4.1. TDS:

Les valeurs moyennes de TDS observées durant l'expérimentation montrent une tendance significative entre les trois types d'échantillons. L'échantillon témoin (absence de roseaux) affiche la valeur la plus élevée avec 571.5 mg/l, suivi de l'échantillon proche du roseau vif (559.25 mg/l), puis celui proche du roseau mort (544.25 mg/l).

Cette diminution progressive du TDS en présence de roseaux, peut s'expliquer par la capacité des plantes hélophytes comme *Phragmites australis* à absorber une partie des sels dissous présents dans l'eau via leurs racines, notamment les ions tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et Cl^- (Adjovu et al., 2023). Ces ions peuvent être stockés dans les tissus végétaux ou précipités dans le substrat par des processus de bioaccumulation et de biofiltration. Les mécanismes d'adsorption racinaire et la rétention dans les zones rhizosphériques favorisent la réduction des solides dissous, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau (Zhou et al., 2022).

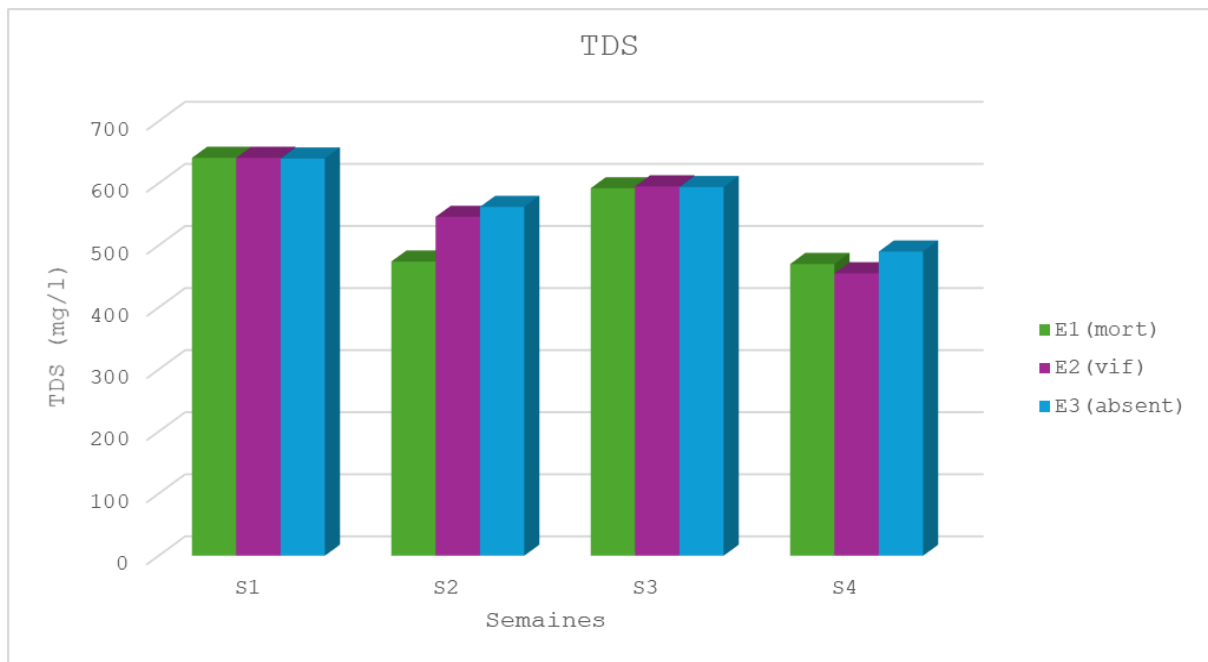


Figure 17: Histogramme représentatif des variations de TDS

4.2. Conductivité:

Les résultats illustrés dans la **figure 18** montrent que la conductivité moyenne est la plus faible au niveau du roseau mort (950,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), suivie par le roseau vif (995,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et qu'elle atteint sa valeur maximale dans la zone sans végétation (1006,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La présence de *Phragmites australis*, en particulier à l'état vivant, semble jouer un rôle dans la régulation des concentrations ioniques de l'eau. Cette plante pourrait absorber certains ions minéraux ou favoriser leur précipitation ou rétention dans le sol par ses racines, ce qui diminue légèrement la conductivité du milieu (Zhou et al., 2017).

Selon Zhou et al.,(2017), les macrophytes émergents sont capables de modifier les caractéristiques physico-chimiques de leur environnement, notamment en influençant la conductivité par des échanges ioniques au niveau de la rhizosphère.

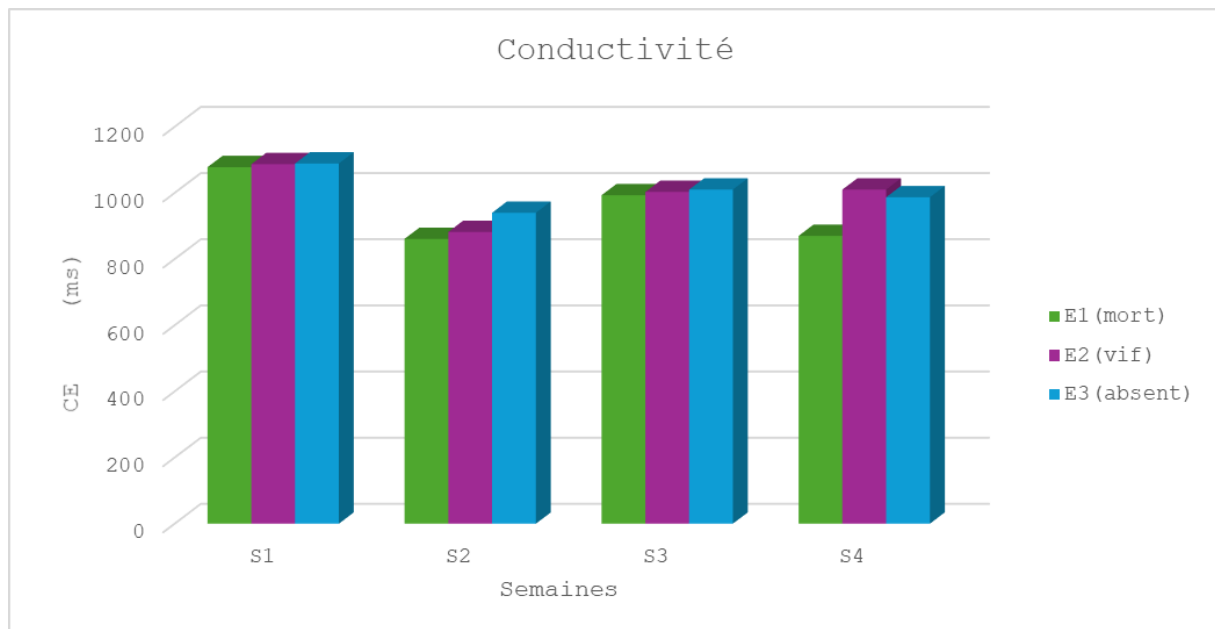


Figure 18: Histogramme représentatif des variations de conductivité

4.3 .pH:

On observe dans la figure 19 que la valeur moyenne du pH est la plus basse au niveau de l'échantillon E1, prélevé près d'un roseau mort (7,10). Elle augmente légèrement au niveau du roseau vivant (7,39) et atteint son maximum dans la zone dépourvue de végétation (7,52).

La présence d'un roseau vivant semble donc influencer le pH en maintenant un équilibre plus stable et neutre, tandis que l'absence de végétation correspond à un pH légèrement plus basique. Cette tendance peut s'expliquer par l'activité biologique des *Phragmites australis*, qui, à travers leur rhizosphère, contribuent à la régulation chimique du milieu. D'après (Zhou et al., 2017), la rhizosphère des macrophytes, notamment les roseaux, joue un rôle déterminant dans l'ajustement du pH en influençant l'absorption des ions hydrogène et hydroxyle. Ainsi, les *Phragmites australis* vivants participeraient à la stabilisation du pH par des mécanismes biologiques actifs.

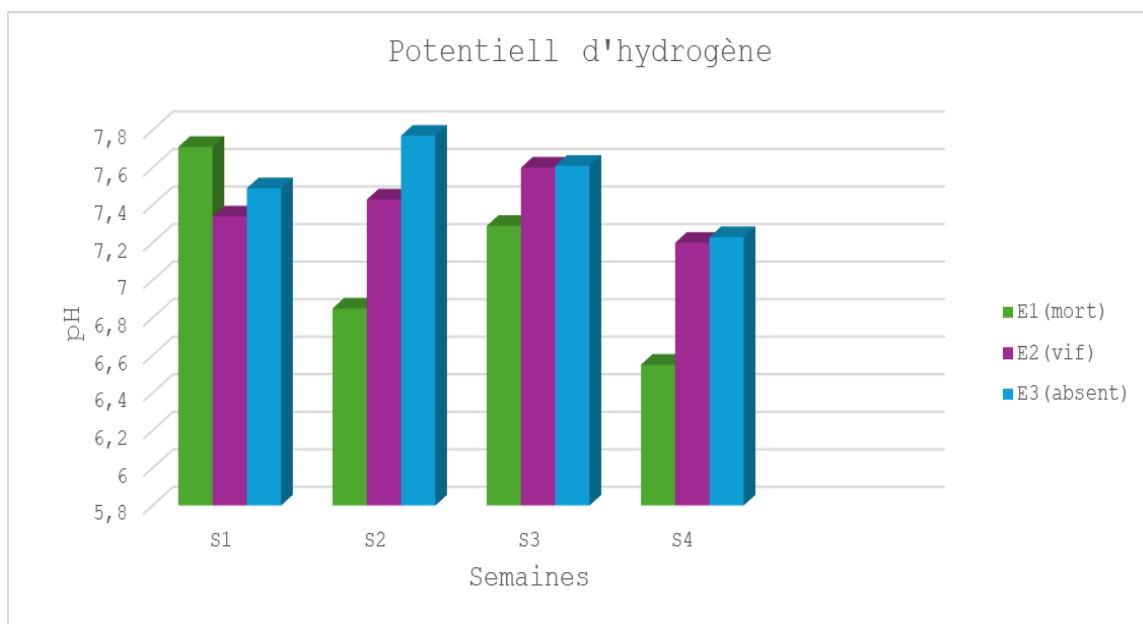


Figure 19: Histogramme représentatif des variations de pH

4.4. Sulfates:

Les concentrations moyennes en sulfates montrent une nette diminution dans l'échantillon proche du roseau vif (24.5 mg/l), par rapport à l'échantillon sans roseaux (29.75 mg/l) et celui près du roseau mort (37.5 mg/l). Cette baisse chez le roseau actif témoigne d'une efficacité de *Phragmites australis* dans l'absorption ou la transformation des sulfates dissous **figure 20**.

Les sulfates présents dans l'eau peuvent être assimilés par certaines plantes héliophytes comme source de soufre (S), un élément essentiel à la synthèse des acides aminés soufrés (cystéine, méthionine). *Phragmites australis* est capable d'absorber le soufre via ses racines, où il est ensuite intégré dans les tissus végétaux ou précipité dans la rhizosphère par l'action de micro-organismes sulfate-réducteurs (Hsiao et al., 2021; Zhang et al., 2022). Ces bactéries souvent présentes autour des racines transforment les sulfates en sulfures ce qui diminue leur concentration dans l'eau.

La forte concentration observée dans l'échantillon « mort » peut s'expliquer par la dégradation de la biomasse végétale en décomposition, qui relargue les sulfates stockés auparavant dans les tissus, augmentant leur niveau dans l'eau environnante (Mouheb, 2023).

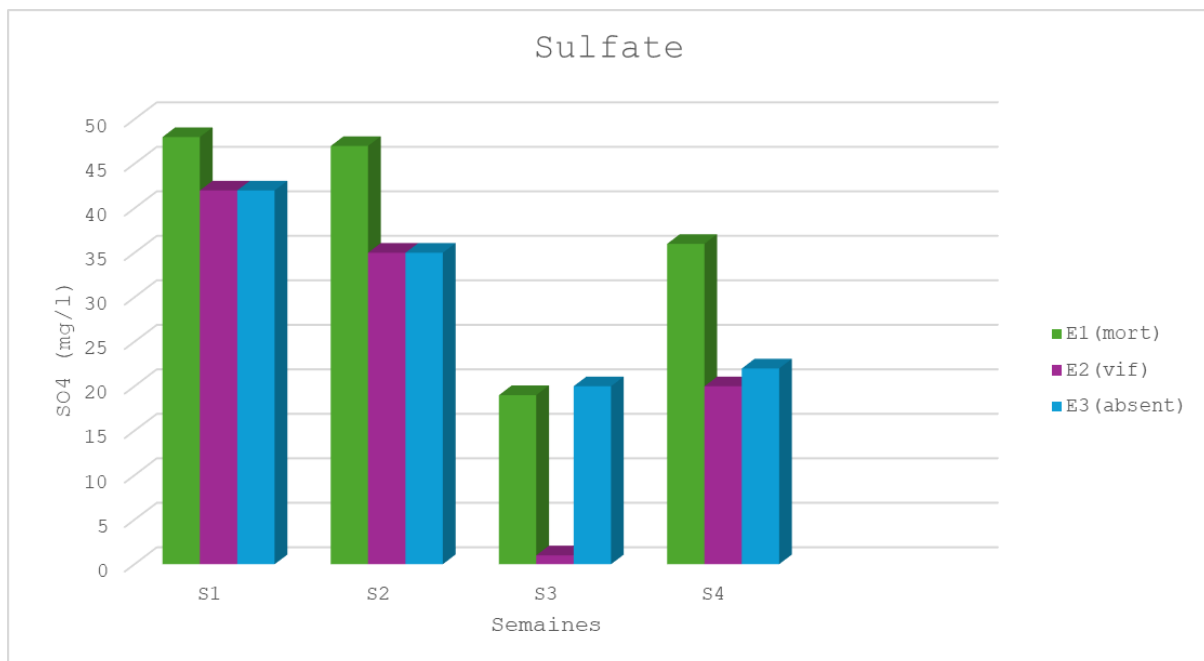


Figure 20: Histogramme représentatif des variations de sulfate

4.5. Matière en suspension :

Les concentrations moyennes MES mesurées dans les trois échantillons sont les suivantes :

- Zone avec roseau mort (E1) :131(mg/l)
- Zone avec roseau vif (E2) :52(mg/l)
- Zone témoin, sans roseau (E3) :60.75(mg/l)

La concentration élevée dans l'échantillon E1 peut s'expliquer par la décomposition du roseau mort, libérant des particules dans l'eau. En revanche, la faible concentration autour du roseau vivant (E2) suggère un rôle actif de *Phragmites australis* dans la réduction des MES. Cette plante est connue pour sa capacité à piéger et à sédimenter les particules en suspension grâce à son système racinaire dense (Vymazal, 2011). Une étude a montré que *Phragmites australis* permet une réduction des MES allant jusqu'à 94,38 % dans des conditions optimales (El Shahawy & Heikal, 2018).

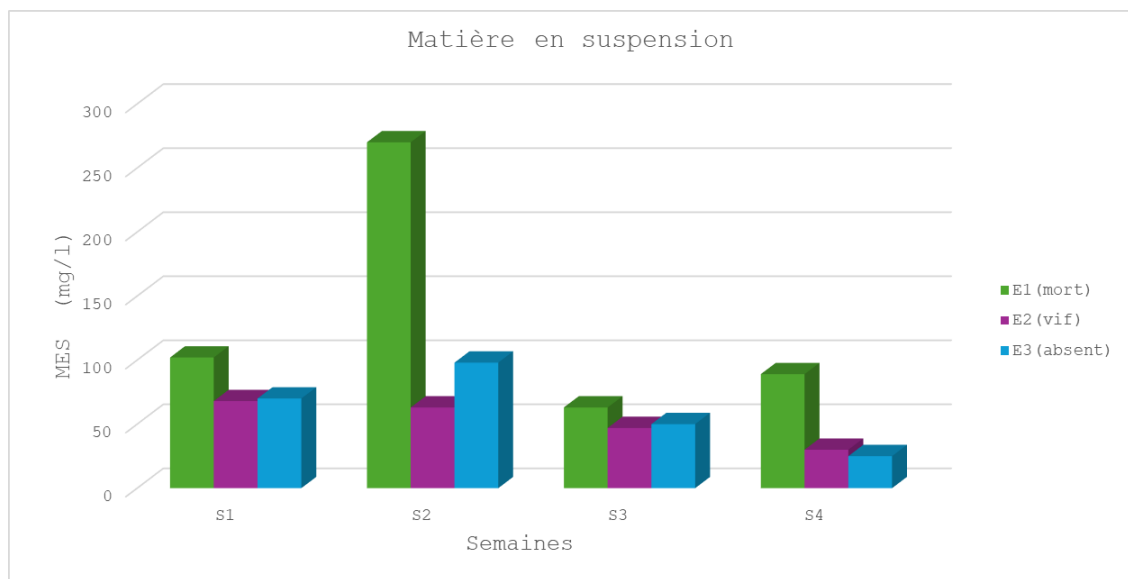


Figure 21: Histogramme représentatif des variations de MES

4.6. Nitrate:

Les concentrations moyennes en nitrates mesurées dans les trois échantillons sont les suivantes :

- Zone avec roseau mort (E1) : 0,15 mg/l
- Zone avec roseau vif (E2) : 0,07 mg/l
- Zone témoin, sans roseau (E3) : 0,095 mg/l

La concentration la plus faible observée dans la zone avec le *Phragmites australis* vivant (E2) démontre clairement son efficacité dans la réduction des nitrates présents dans l'eau. Cette capacité est liée au mécanisme d'assimilation des nitrates par les plantes, ainsi qu'à l'activité microbienne dans la rhizosphère, qui favorise les processus de dénitrification (Choudhury et al., 2020).

Le roseau mort (E1), en revanche, libère potentiellement des éléments accumulés dans ses tissus, ce qui peut expliquer une teneur plus élevée en nitrates. Quant à la zone témoin (E3), l'absence de végétation limite les phénomènes biologiques de rétention ou de transformation de l'azote (Vymazal, 2011).

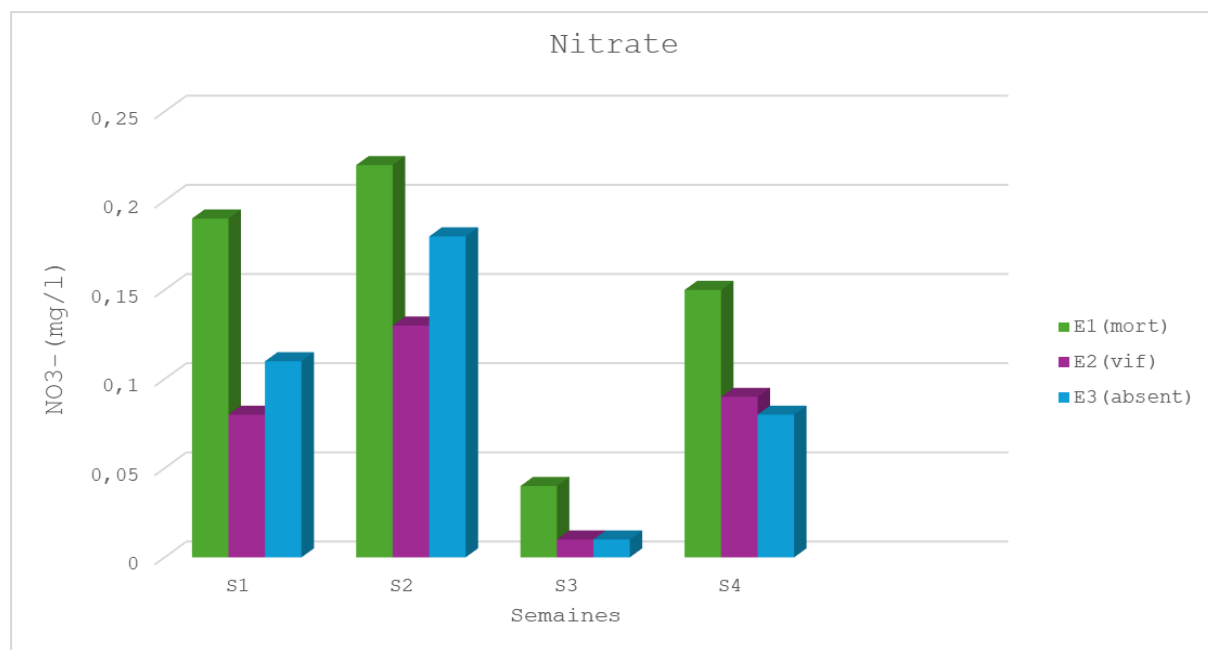


Figure 22: Histogramme représentatif des variations de nitrate

4.7. Nitrite:

Les moyennes de concentration en nitrites mesurées sont les suivantes :

- Zone avec roseau mort (E1) : 0,121 mg/L
- Zone avec roseau vif (E2) : 0,039 mg/L
- Zone témoin, sans roseau (E3) : 0,063 mg/L

La concentration la plus faible enregistrée dans l'échantillon prélevé à proximité du *Phragmites australis* vivant (E2) met en évidence sa capacité à réduire les nitrites présents dans l'eau. Cela peut s'expliquer par l'assimilation directe des ions NO_2^- par la plante, mais aussi par les activités bactériennes dans la rhizosphère, notamment la nitrification/dénitrification, qui transforment les nitrites en composés moins toxiques comme le N_2 gazeux (Zhao et al., 2022).

En revanche, l'échantillon associé au roseau mort (E1) présente la concentration en nitrites la plus élevée. Cela peut être dû à la libération progressive de composés azotés accumulés dans les tissus de la plante morte, ainsi qu'à un ralentissement des processus microbiens responsables de l'épuration (Vymazal, 2011). Le témoin (E3), où aucun roseau n'est présent, montre une concentration intermédiaire, probablement liée à l'absence de végétation épuratrice et de structure racinaire filtrante.

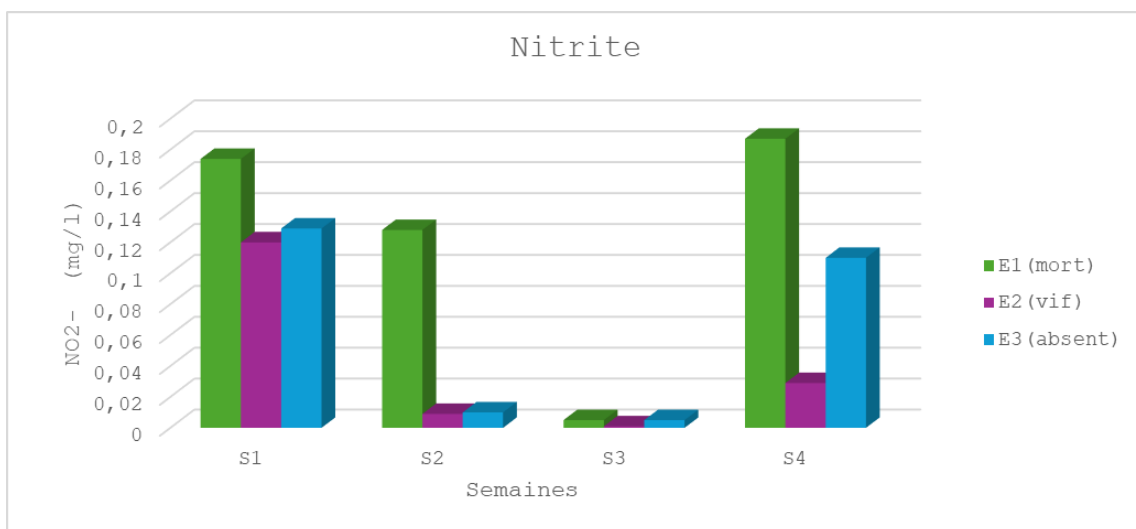


Figure 23: Histogramme représentatif des variations de nitrite

4.8. Oxygène dissous:

Les moyennes d'oxygène dissous enregistrées sont les suivantes :

- Zone avec roseau mort (E1) : 4,14 mg/l
- Zone avec roseau vif (E2) : 4,86 mg/l
- Zone témoin, sans roseau (E3) : 10,9 mg/l

Ces résultats montrent que l'oxygène dissous est significativement plus faible dans les zones où les roseaux (*Phragmites australis*) sont présents, qu'ils soient morts ou vivants. La valeur la plus basse est mesurée au niveau du roseau mort, ce qui peut être dû à la décomposition de la matière organique, qui consomme une grande partie de l'oxygène disponible via les processus microbiens (Zhang et al., 2018).

Quant à la zone avec un roseau vivant (E2), l'oxygène est légèrement plus élevé, ce qui pourrait s'expliquer par l'oxygénation limitée de la rhizosphère via les racines aérées du *Phragmites*, mais cette aération reste faible comparée à la diffusion naturelle dans les zones sans végétation dense (Lu et al., 2020).

La valeur très élevée de l'oxygène dissous dans la zone témoin (E3) est cohérente avec l'absence de plantes et de forte matière organique : l'eau y est plus calme, sans activité biologique intense, ce qui permet une meilleure aération naturelle et moins de consommation d'oxygène.

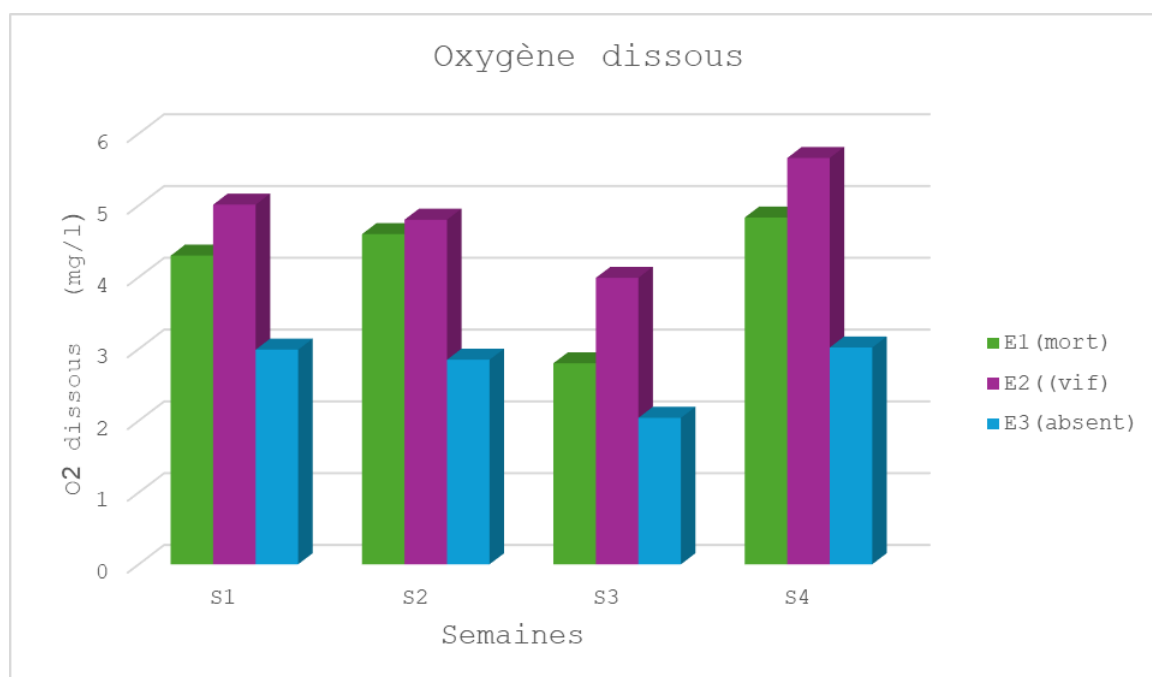


Figure 24: Histogramme représentatif des variations d'oxygène dissous

4.9. La demande chimique en oxygène (DCO):

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique contenue dans l'eau. Une valeur élevée indique une charge organique importante, souvent liée à la pollution.

Dans ce cas, la valeur la plus basse est observée dans l'échantillon prélevé à proximité du *Phragmites australis* vivant (E2) (6.24 mg/l), ce qui suggère une capacité de dépollution efficace par la plante. En effet, le roseau favorise l'absorption de la matière organique, la sédimentation, et la dégradation microbienne dans la rhizosphère, ce qui diminue la charge en composés oxydables (Truu et al., 2009). La DCO est plus élevée dans la zone avec roseau mort (7.55mg/l), probablement en raison de la décomposition des tissus végétaux relâchant de la matière organique facilement oxydable, ce qui augmente la demande en oxygène. Enfin, la zone témoin (E3), sans roseau, présente la DCO la plus élevée (7.70mg/l) ce qui traduit l'absence de processus naturels de filtration et de stabilisation biologique (Zhi et al., 2022).

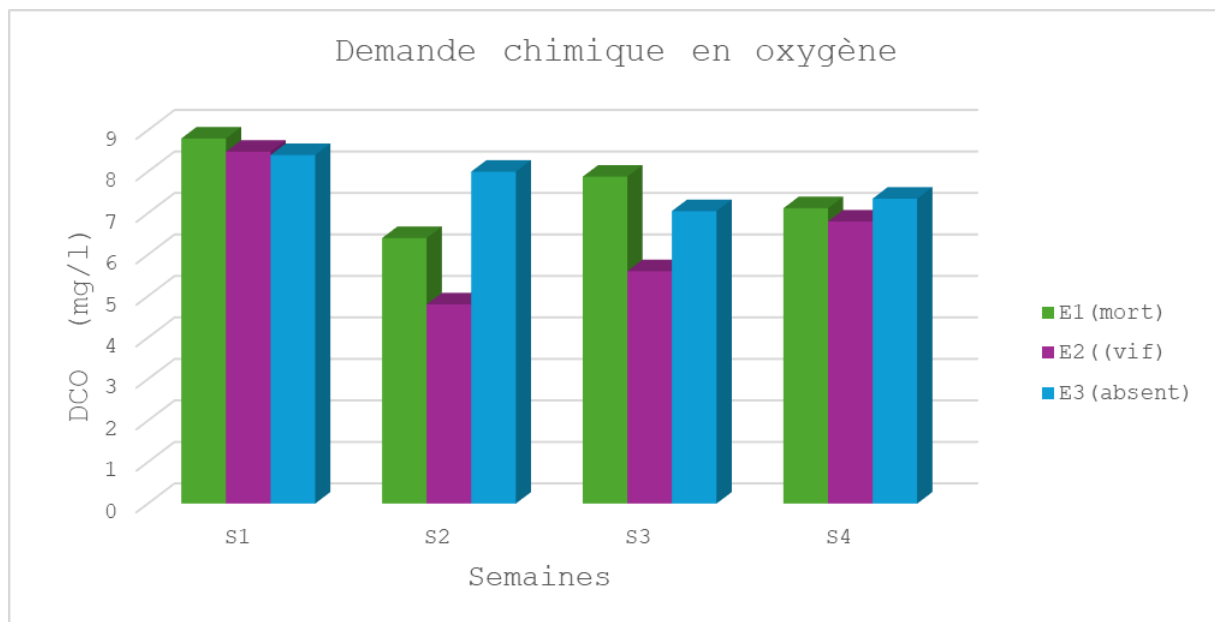


Figure 25: Histogramme représentatif des variations de la DCO

4.10. La demande biochimique en oxygène (DBO5):

La concentration moyenne de DBO5 la plus élevée est dans l'échantillon prélevé près du *Phragmites* mort 38.5 (mg/l) suggère une accumulation de matière organique biodégradable, probablement due à la décomposition des tissus végétaux (racines, feuilles) qui libèrent de la matière organique dans l'eau (Zhi et al., 2022). En effet, lors de la sénescence des plantes aquatiques, les tissus morts deviennent des sources de charge organique pour le milieu, augmentant ainsi la demande biologique en oxygène. En revanche, la zone avec *Phragmites australis* vivant présente la plus faible concentration moyenne en DBO5 est 19.75 mg/l. Cela démontre l'efficacité du roseau commun dans l'absorption et la stabilisation des matières organiques par ses racines, mais aussi par le biofilm microbien associé à son rhizome, ce qui permet une dégradation plus efficace des substances organiques (Truu et al., 2009). La zone témoin présente une valeur intermédiaire 22.5 mg/l, ce qui indique une certaine dégradation naturelle de la matière organique, mais moins efficace en l'absence de *Phragmites* confirmant leur rôle épurateur.

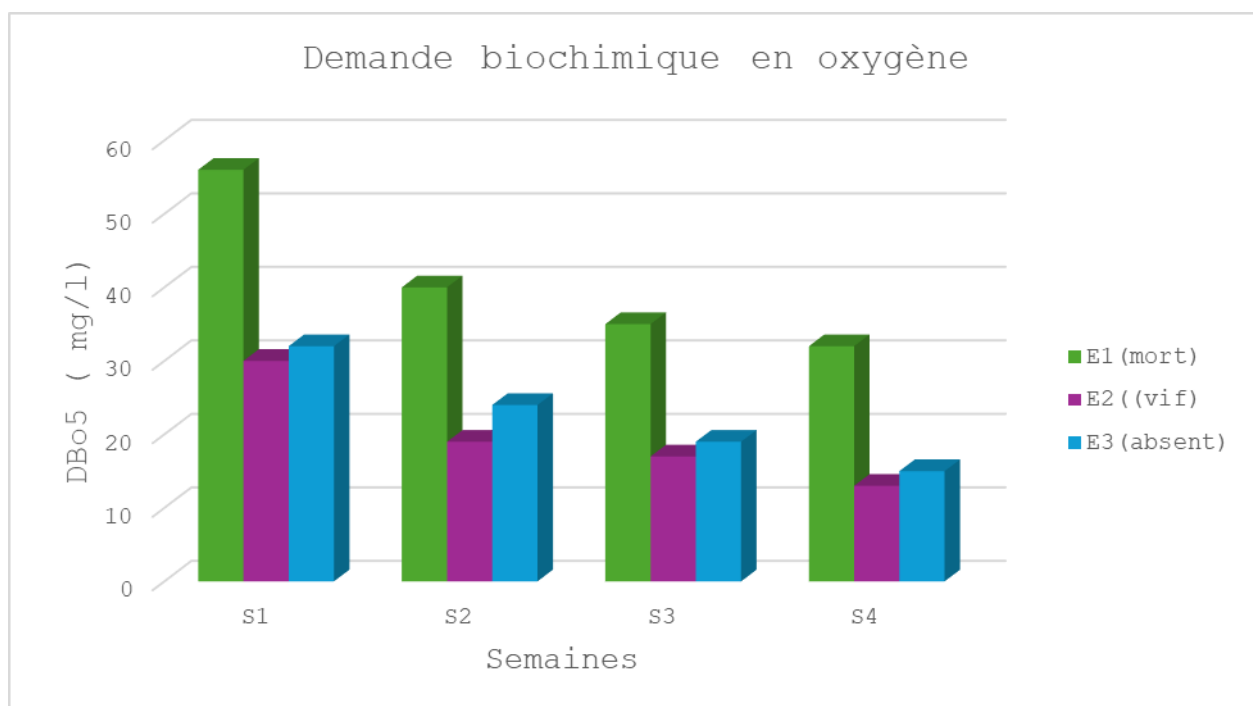


Figure 26: Histogramme représentatif des variations de la DBO5

4.11. Phosphate:

La concentration moyenne la plus faible en phosphate a été enregistrée à proximité du *Phragmites australis* vivant (4.89 mg/l), ce qui suggère une capacité de phytoremédiation efficace de cette plante figure 26. Les roseaux vivants sont capables d'absorber et de stocker des nutriments comme le phosphate à travers leurs racines et leurs tissus aériens. Ce mécanisme est bien documenté dans les zones humides artificielles où les macrophytes sont utilisés pour le traitement des eaux usées (Wu et al., 2014).

En revanche, la concentration de phosphate la plus élevée (6.62 mg/l) a été mesurée près des roseaux morts. Cela peut s'expliquer par un phénomène de remobilisation des nutriments : à la mort de la plante, les tissus commencent à se décomposer, libérant les éléments accumulés, notamment le phosphate, dans l'eau environnante (Vymazal, 2007). Ce relargage post-mortem rend cette zone plus polluée que celle sans végétation (5.44 mg/l), bien que cette dernière ne bénéficie d'aucune absorption active.

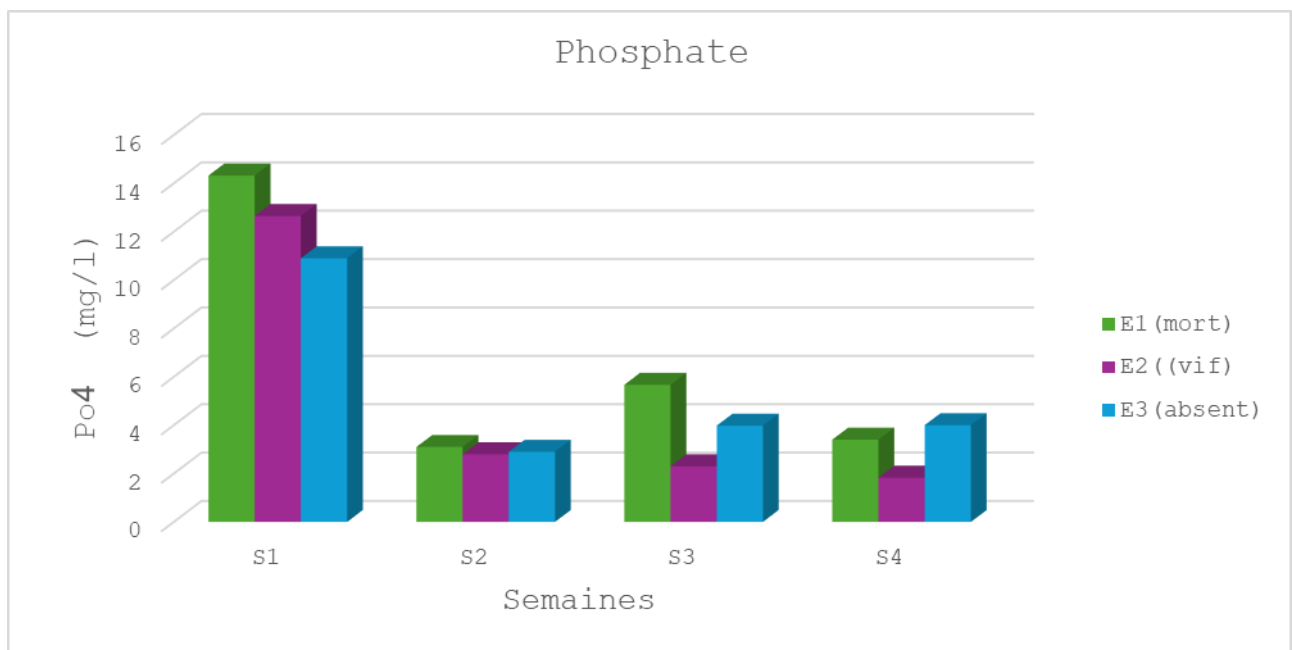


Figure 27: Histogramme représentatif des variations de Phosphate

4.12. Chlore libre:

Les résultats obtenus dans la figure 27 montrent une concentration de chlore libre plus élevée dans l'échantillon situé près du *Phragmites australis* mort (1.12 mg/l), suivie du site témoin (0.74 mg/l), et enfin du site près du *Phragmites* vif (0.46 mg/l). Ce profil indique que le *Phragmites australis* vivant a un effet significatif sur la réduction du chlore libre présent dans l'eau (Vymazal, 2011). Le chlore libre est un agent oxydant souvent présent dans les eaux usées désinfectées. Sa réduction dans les zones où pousse le *Phragmites* vivant peut être liée à la capacité des plantes à capter et transformer certaines substances oxydantes par des mécanismes biochimiques et microbiens au niveau des racines, favorisant leur neutralisation ou leur fixation (Ilyas & Masih, 2017).

En revanche, dans la zone du *Phragmites* mort, la dégradation de la biomasse pourrait provoquer une libération de composés accumulés, dont le chlore, ou créer des conditions moins favorables à sa dégradation, expliquant ainsi les concentrations plus élevées (Brix, 1997).

La valeur mesurée dans le site témoin représente un niveau intermédiaire, ce qui confirme que la présence de *Phragmites* vivant agit comme un facteur de dépollution, soulignant son rôle écologique important dans les systèmes de phytoremédiation (Kadlec & Wallace, 2009).

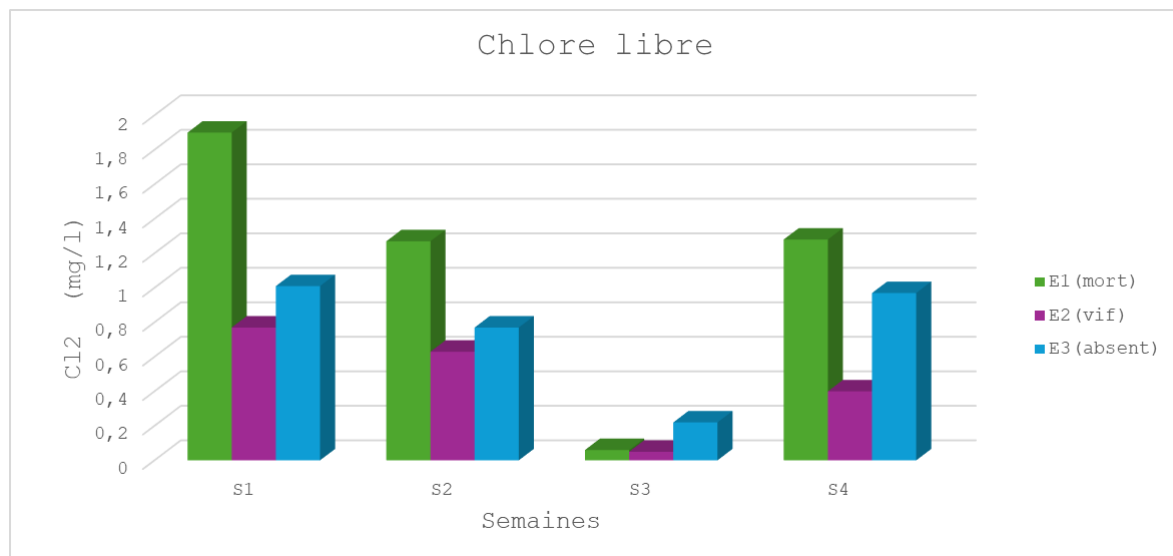


Figure 28: Histogramme représentatif des variations de chlore libre

5. Les métaux lourds:

5.1. Le fer:

Les résultats montrent une concentration plus élevée de fer dans la zone du *Phragmites* mort (1.19 mg/l), suivie de la zone témoin (0.82 mg/l), tandis que la zone du roseau vivant présente une valeur nettement plus basse (0.25 mg/l).

La faible teneur en fer au niveau du roseau vivant s'explique par sa capacité à absorber et à stocker le fer dans ses tissus racinaires et aériens, ce qui est un mécanisme courant de phytoremédiation (Brix, 1997). Les racines de *Phragmites australis* sécrètent également des exsudats qui peuvent favoriser la précipitation du fer en fer ferrique (Fe^{3+}), le rendant moins soluble et donc moins biodisponible dans l'eau (Kadlec & Wallace, 2009).

Dans la zone du *Phragmites* mort, la décomposition des tissus végétaux peut entraîner la remobilisation du fer accumulé durant la vie de la plante, ce qui explique la concentration plus élevée. Ce processus est accentué dans les milieux anaérobies, fréquents dans les zones humides (Reddy & Delaune, 2008).

La concentration dans la zone témoin, sans végétation, est intermédiaire, reflétant l'absence de mécanisme biologique actif pour la captation du fer ou sa transformation.

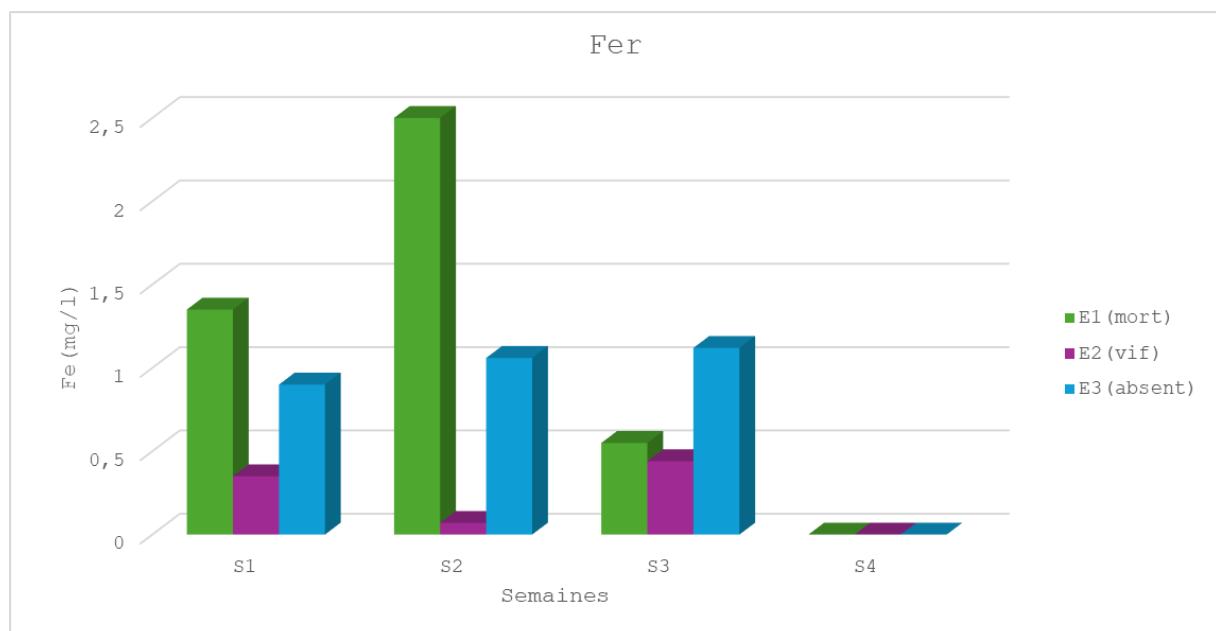


Figure 29: Histogramme représentatif des variations de Fer

5.2. Chrome:

Les concentrations en chrome sont significativement plus faibles dans la zone avec le roseau vivant, ce qui montre que *Phragmites australis* est efficace dans la phytoremédiation du chrome. Cette plante peut absorber et accumuler le chrome à travers ses racines, réduisant ainsi sa concentration dans l'eau (Wu et al., 2014).

En revanche, dans la zone du roseau mort, la concentration est plus élevée que dans la zone du roseau vivant, mais inférieure à la zone témoin. Cela pourrait s'expliquer par une libération progressive des métaux accumulés dans les tissus du roseau après sa mort, phénomène souvent observé dans les écosystèmes aquatiques post-mortem (Ali et al., 2013).

La zone témoin dépourvue de roseaux présente la plus forte concentration en chrome confirmant l'hypothèse que l'absence de plantes filtrantes favorise l'accumulation de métaux lourds dans le milieu aquatique.

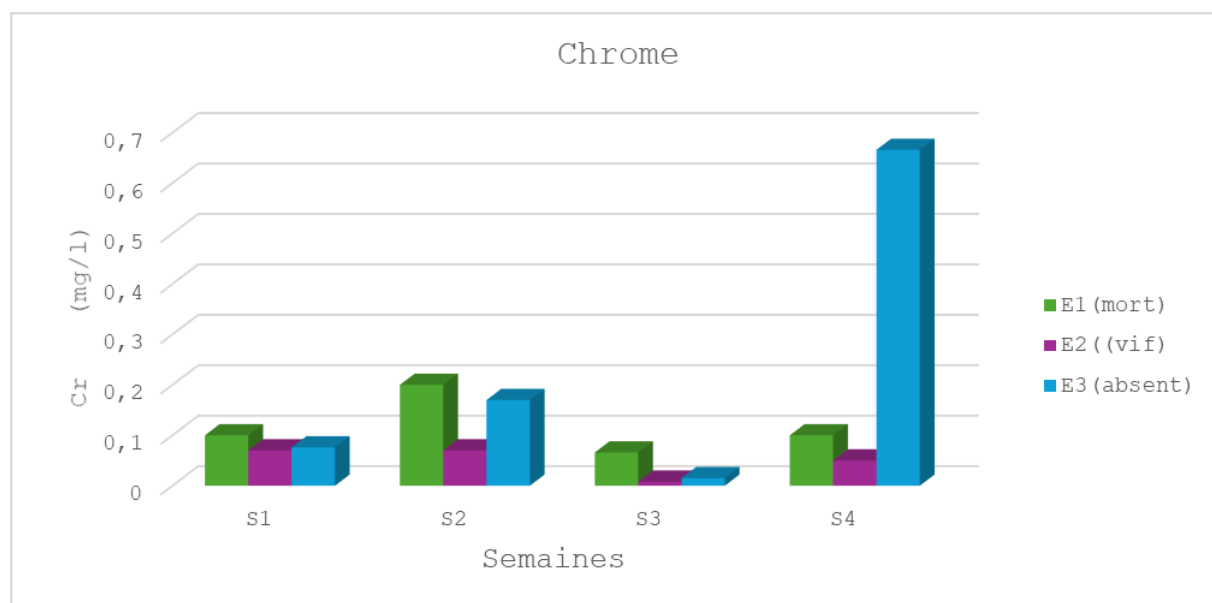


Figure 30: Histogramme représentatif des variations de Chrome

5.3. Le Zinc:

La concentration moyenne de zinc est significativement plus faible dans la zone proche du *Phragmites australis* vivant (0.302 mg/l) que dans la zone témoin (0.367 mg/l) ou celle du roseau mort (0.66 mg/l). Cela suggère que le *Phragmites australis* vivant contribue activement à la phytoremédiation du zinc dans l'eau par absorption racinaire, bioaccumulation et stabilisation dans les tissus végétaux ce qui diminue sa concentration dans le milieu environnant (Ali et al., 2013).

La valeur élevée dans la zone du roseau mort peut s'expliquer par un phénomène de remobilisation post-mortem. En effet, la décomposition des tissus végétaux entraîne la libération progressive des métaux accumulés par la plante de son vivant, ce qui peut provoquer une augmentation locale de la concentration en zinc dans l'eau (Garbisu & Alkorta, 2001).

La concentration dans la zone témoin reste intermédiaire, ce qui confirme que sans plante, aucun mécanisme actif de rétention ou d'absorption n'opère. Ce résultat renforce l'idée que le *Phragmites australis* vivant joue un rôle clé dans la diminution des concentrations de métaux lourds, notamment le zinc, dans les écosystèmes aquatiques contaminés (Marchand et al., 2010).

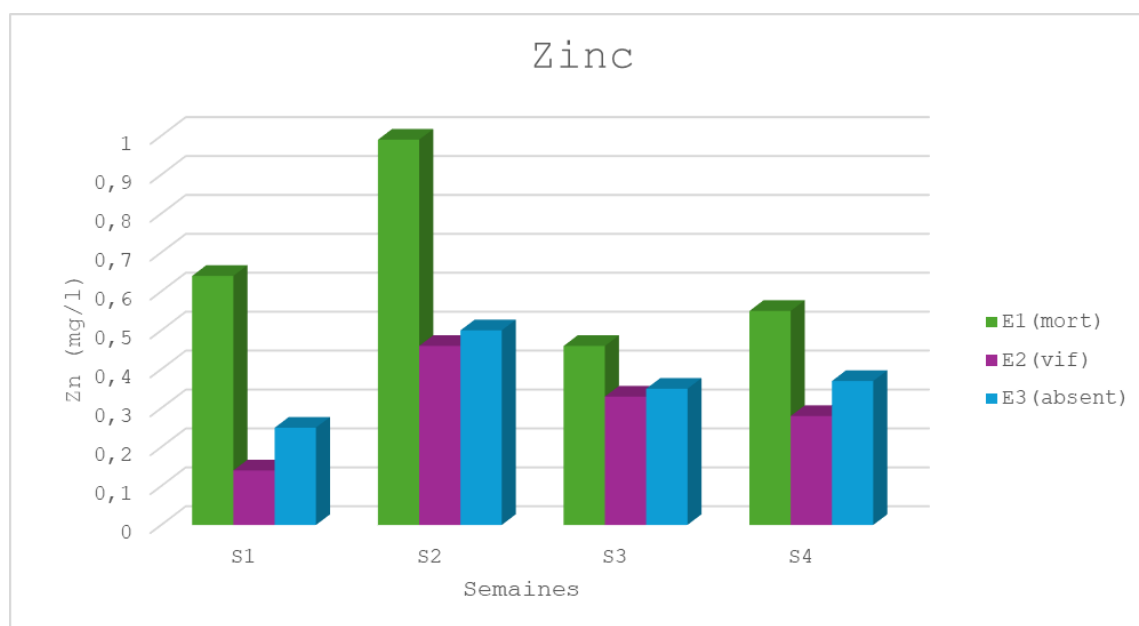


Figure 31: Histogramme représentatif des variations de Zinc

5.4. Le Cuivre:

La concentration en cuivre est nettement plus faible dans la zone du *Phragmites australis* vivant (0.505 mg/l) comparée à la zone témoin (1.0025 mg/l), ce qui suggère un effet clair de phytoremédiation. Le roseau absorbe le cuivre à travers ses racines et le stocke dans ses tissus (Zhao et al., 2012), réduisant ainsi la pollution métallique dans le milieu.

Dans la zone du roseau mort, la concentration augmente à 0.785 mg/l, confirmant un phénomène de libération post-mortem des métaux accumulés. Ce processus est bien documenté dans les systèmes de traitement par macrophytes, où les tissus morts se décomposent et relâchent progressivement les contaminants stockés (Marchand et al., 2010).

Quant à la zone témoin, l'absence de végétation empêche toute absorption ou stabilisation du cuivre, ce qui explique une concentration maximale observée. Cela démontre clairement l'importance de la plante vivante dans le contrôle de la pollution métallique (Ali et al., 2013).

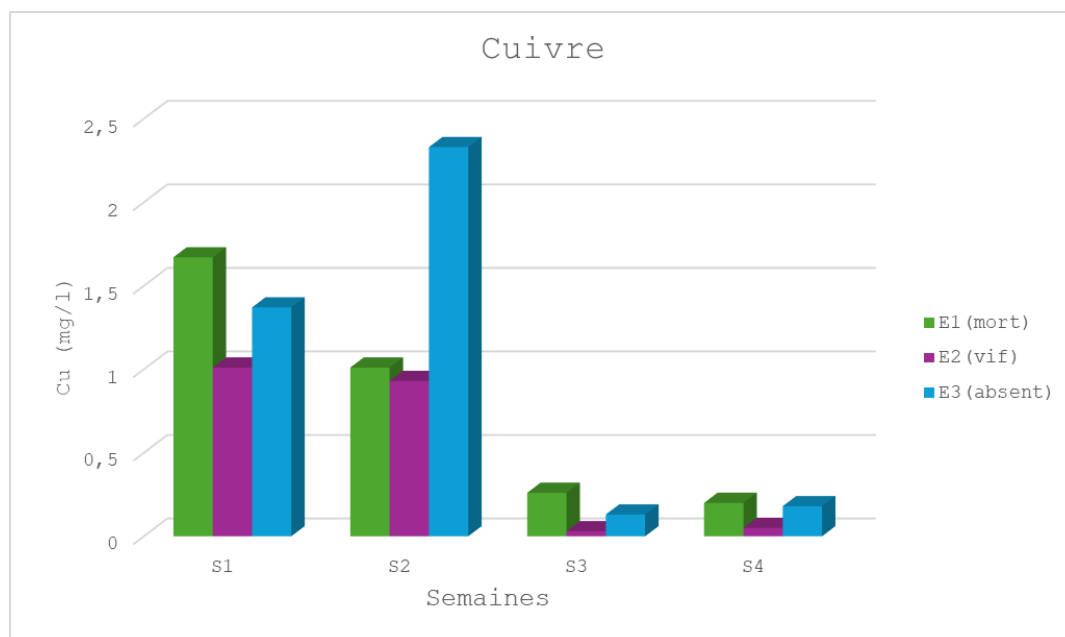


Figure32: Histogramme représentatif des variations de cuivre

5.5. manganèse :

Les résultats montrent une concentration moyenne en manganèse de (0.9 mg/l) dans l'échantillon situé près du *Phragmites* mort, contre (0.21 mg/l) près du *Phragmites* vif, et (0.63 mg/l) dans le site témoin (sans roseaux). Cette distribution indique clairement que le *Phragmites australis* vivant joue un rôle significatif dans la rétention ou la stabilisation du manganèse dissous dans le milieu aquatique (Kadlec & Wallace, 2009).

La faible concentration autour du *Phragmites* vif peut être expliquée par la capacité de bioaccumulation de cette plante notamment par les racines qui piègent les métaux lourds comme le manganèse, les empêchant de rester dans la colonne d'eau (Reddy & Delaune, 2008). À l'inverse l'échantillon près du roseau mort présente la plus forte concentration. Ceci est probablement dû à un relargage post-mortem : lors de la décomposition des tissus végétaux les métaux accumulés peuvent être réémis dans l'environnement (Zhou et al., 2012).

Enfin, la concentration intermédiaire dans le témoin peut être considérée comme le niveau de base dans l'environnement sans interaction directe avec le *Phragmites* ce qui confirme encore l'effet dépolluant de la plante vivante.

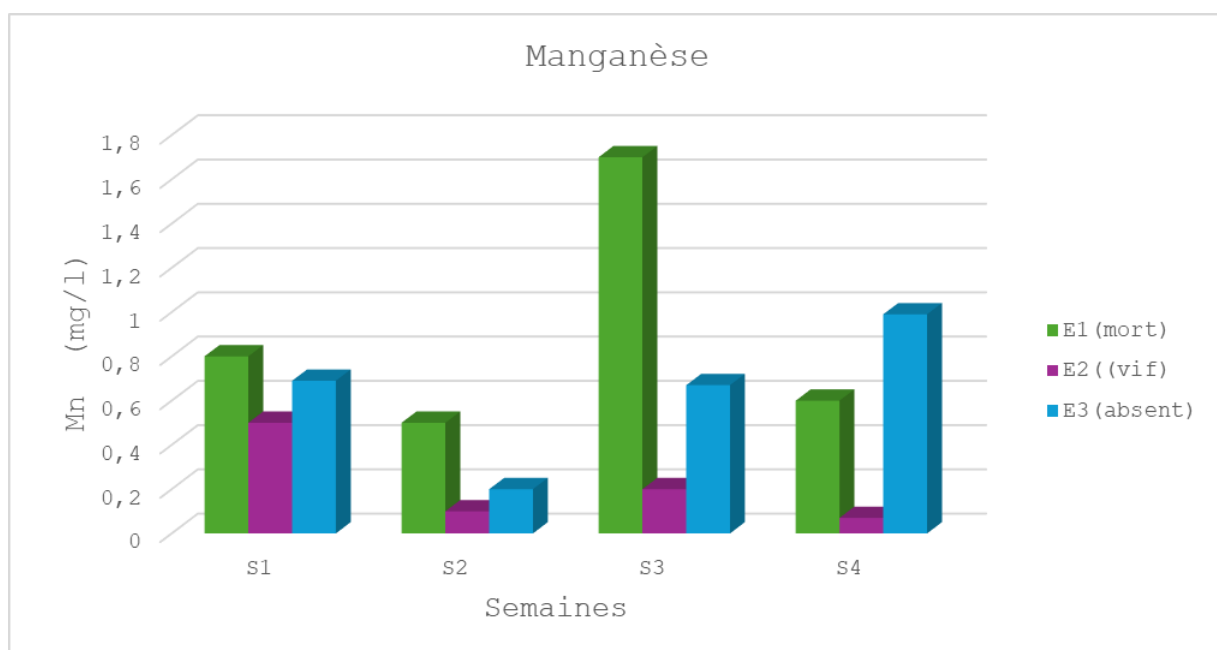


Figure 33: Histogramme représentatif des variations de manganèse

Conclusion :

La phytoremédiation et en particulier l'utilisation de *Phragmites australis* représente une solution naturelle durable et peu coûteuse pour la dépollution des milieux aquatiques. Grâce à sa capacité à absorber les nutriments excédentaires les métaux lourds et d'autres polluants. Cette plante joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de l'eau.

Notre étude menée sur un lac naturel exposé à des rejets domestiques et agricoles a permis d'évaluer l'efficacité de cette espèce en comparant trois types de zones : à proximité de roseaux vivants, près de roseaux morts, et en absence de *Phragmites*. Les résultats ont clairement démontré une meilleure qualité de l'eau près des roseaux vivants, tandis que les zones sans végétation ou proches de roseaux morts présentaient une pollution plus élevée confirmant ainsi l'action filtrante active des plantes vivantes et le relargage potentiel des polluants en cas de décomposition. Cette observation souligne un aspect important, pour garantir une phytoremédiation efficace à long terme il est nécessaire de mettre en place une stratégie de gestion des plants Une coupe contrôlée des *Phragmites* avant leur mort naturelle permettrait de prévenir le relargage des substances accumulées et de maintenir la stabilité du système. De plus les tiges coupées peuvent être valorisées réduisant ainsi le gaspillage et renforçant l'aspect durable de la méthode.

Au-delà de cette expérimentation notre travail ouvre la voie à des perspectives d'application concrètes dans la gestion environnementale. Il serait pertinent d'envisager à l'échelle des villes ou des industries l'implantation ciblée de plantes phytoremédiatrices comme *Phragmites australis* aux abords des points de rejet des eaux usées (stations d'épuration, rejets industriels, canaux agricoles). Ces plantations agiraient comme des barrières végétales naturelles capables de capter et de réduire la charge polluante avant que l'eau ne rejoigne les rivières, les lacs ou les milieux marins. Cette stratégie encore peu développée localement pourrait contribuer de manière significative à la protection des écosystèmes aquatiques tout en promouvant une gestion écologique et intégrée des ressources hydriques.

Les Références Bibliographiques

Les Références Bibliographiques

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of Heavy Metals-Concepts and Applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Ahmed Brahim D, Taleb I, 2014, L'étude du fonctionnement de la STEP de Sidi bel Abbes par le principe à boue activées, *Hydraulique*, Master, Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid, P 05.
- ASTM International. (2020). Standard Test Methods for pH and Electrical Conductivity of Water. ASTM D6293-98(2020), West Conshohocken, PA : ASTM International.
- Adjovu, M. et al. (2023). Phytoremediation of Wastewater Using Constructed Wetlands with *Phragmites australis*. Master's thesis, University of Ghana.
- Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 29(4), 71-78.
- Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands ? *Water Science and Technology*, 35(5), 11–17.
- Bouaicha A, Killani A. 2017, Optimisation des paramètres de la récupération du phosphate des eaux usées et sa valorisation dans la synthèse de l'acide phosphorique de Bejaia, *Mines et Géologie*, Master, Bejaia : Université Abderrahmane Mira, P 05.
- Bouallaoui M (2022). Contribution à la caractérisation de la qualité physicochimique et microbiologique des effluents traités de la station d'épuration (STEP). Cas de la wilaya de Ghardaïa. Mémoire de Master, Université de Ghardaïa, Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre, Département de biologie, 85 p.
- Bouchaala, L., Charchar, N., Grara, N., et al. (2025). Assessing the Efficiency of *Phragmites australis* in Wastewater Treatment as a Natural Approach to Water Quality Improvement
- Corolla, J.-P. & Kupfer, M. (2019). *Phragmites australis* (Cav.) Steud. In : DORIS. FFESSM. Disponible sur : <https://doris.ffessm.fr/ref/specie/446> (consulté le 15 février 2025).
- Choudhury, B. U., Mohapatra, S., & Singh, S. K. (2020). Constructed wetlands for nitrate removal : A review on performance and microbial ecology. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100351.

Les Références Bibliographiques

- CPEPESC (2022), Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux et commentaires, CPEPESC Franche-Comté. Disponible sur : <https://cpepesc.org/...>(Consulté le 15 février 2025).
- Chelghoum, H. (2023). Utilisation des plantes macrophytes pour le traitement des eaux usées : cas du roseau commun (*Phragmites australis*) [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah - Ouargla]. Dspace Université de Ouargla
- CTC Groupe. (s.d.). Analyse de métaux lourds dans l'eau. Consulté le 5 mai 2025, à l'adresse:<https://www.ctcgroupe.com/fr/nos-prestations/prelevements-et-analyses/analyses-chimiques-matrice-eau/analyses-metaux-lourds-213-1.html>
- Dhir, B. (2013). Phytoremediation : Role of Aquatic Plants in Environmental Clean-Up. Springer.
- El Shahawy, A., & Heikal, G. (2018). Regression, kinetics and isotherm models for biosorption of organic pollutants, suspended and dissolved solids by environmentally friendly and economical dried *Phragmites australis*. RSC Advances, 8(72), 41165–41177.
- HACH Company. (2005). Nitrite, Diazotization Method, Method 8507 (0.002 to 0.300 mg/L). HACH Company, Printed in Germany.
- HACH Company. (2005). Chromium, Hexavalent, 1,5-Diphenylcarbazide Méthode, Méthode 8023 (0.01 to 0.70 mg/L). HACH Company, Printed in Germany.
- HACH Company. (2005). Manganese, Periodate Oxydation Method, Method 8034 (0.1 to 20.0 mg/L). HACH Company, Printed in Germany.
- HACH Company. (2012). Suspended Solids (5 to 750 mg/L), Method 8006 : Photometric Method. HACH Company, Loveland, Colorado, USA.
- HACH Company. (2012). Copper, Bicinchoninate Method, Method 8506 & 8026 (0.04 – 5.00 mg/L), AccuVac Ampuls. HACH Company, Loveland, Colorado, USA. HACH Company. (2012). Free Chlorine, DPD Method, Method 8021 (0.02 to 2.00 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA.
- HACH Company. (2012). Iron, FerroVer Method, Method 8008 (0.02 to 3.00 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA.

Les Références Bibliographiques

- HACH Company. (2012). Zinc, ZincoVer® Method, Method 8009 (0.01 to 3.00 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA.
- HACH Company. (2012). Nitrate, Cadmium Reduction Method, Method 8192 (0.01 to 0.50 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA.
- HACH Company. (2012). COD, Reactor Digestion Method, Method 8000 (0 to 1500 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA .
- HACH Company. (2012). Sulfate, SulfaVer® 4 Method, Method 8051 (2 to 70 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA.
- HACH Company. (2012). Dissolved Oxygen, HRDO AccuVac® Method, Method 8166 (0.3 to 15.0 mg/L). HACH Company, Loveland, Colorado, USA.
- HACH Company, 2014. Water Analysis Handbook, 8th Edition. Hach Company, Loveland, Colorado, USA. Méthode 8048 – Phosphate réactif (PhosVer 3). Disponible sur : www.hach.com
- Hsiao, T.-H., Lin, C.-H., & Chen, C.-Y. (2021). The role of rhizospheric bacteria in sulfate transformation in constructed wetlands. *Water Research*, 190, 116678.
- HACH (s.d.). Demande chimique en oxygène (DCO). Hach. <https://fr.hach.com/parameters/chemical-oxygen-demand> (Consulté le 15 février 2025).
- <https://www.historique-meteo.net/afrique/algerie/skikda/2025/>
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). (2009). *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees*, Revised.
- Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoextraction : A cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77(3), 229–236.
- Google Maps. (2025). Hamrouche Hammoudi, Skikda, Algérie. Consulté en avril 2025 , à l'adresse : <https://www.google.com/maps/place/Hamrouche+Hammoudi> .
- Khan, A. G., et al. (2000). Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. *Chemosphere*, 41(1-2), 197-207.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands* (2nd ed.). CRC Press.

Les Références Bibliographiques

- KoiConnect. (s.d.). 2025, Les paramètres physico-chimiques de l'eau. Consulté le 5 mai depuis <https://koiconnect.com/content/les-parametres-physico-chimique-de-l-eau>
- Lu, S., Zhang, Y., Yang, Y., & Wang, Y. (2020). Root oxygen release and oxygen consumption in constructed wetlands with *Phragmites australis*. *Chemosphere*, 242, 125195.
- leres.ehesp.fr
- Minchinton, T. E., & Bertness, M. D. (2003). Disturbance-mediated competition and the spread of *Phragmites australis* in a coastal marsh. *Ecological Applications*, 13(5), 1400-1410.
- Marchand, L., Mench, M., Jacob, D. L., & Otte, M. L. (2010). Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements : A review. *Environmental Pollution*, 158(12), 3447–3461.
- Metahri Mohammed S, 2012, Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes, Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. *Agronomie*. Thèse de Doctorat, Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri, P 05-06.
- Morin-Crini, N., Winterton, P., Trunfio, G., Torri, G., Louvard, N., Girardot, S., Hutinet, X., & Crini, G. (2019). Paramètres chimiques de l'eau et rejets industriels. Dans N. Morin-Crini & G. Crini (Éds.), *Eaux industrielles contaminées* (pp. 103-144). Presses universitaires de Franche-Comté. <https://books.openedition.org/pufc/10972>.
- Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire. (2021). Carte des monographies des wilayas – Skikda. [en ligne] Disponible sur : <https://www.interieur.gov.dz> [Consulté le 19 avril 2025].
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-39.
- Raskin, I., & Ensley, B. D. (2000). *Phytoremediation of Toxic Metals : Using Plants to Clean Up the Environment*. John Wiley & Sons.
- Reddy, K. R., & Delaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands : Science and Applications*. CRC Press. ISBN : 978-1-4200-4701-8.

Les Références Bibliographiques

- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2017). L'Analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 10^e édition, Dunod.
- Rezania, S., Park, J., Rupani, P. F., Darajeh, N., Xu, X., & Shahrokhishahraki, R. (2019). Phytoremediation potential and control of *Phragmites australis* as a green phytomass: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 7428–7441.
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 49, 643-668.
- Tarmoul F. Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel « cas de la lagune de béni-messous, DEUA : Institut des Sciences de la Mer et de l'aménagement du Littoral, 2007, P 03.
- Truu, M., Juhanson, J., & Truu, J. (2009). Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 407(13), 3958–3971.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2013). *Phytotechnologies : A Technical Approach in Environmental Management*.
- Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380(1-3), 48–65.
- Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment : Five decades of experience. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 61-69.
- Weisner, S. E. B., & Ekstam, B. (1993). Influence of submergence on seasonal shoot elongation and proliferation of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 45(2-3), 153-161.
- Wu, H., Zhang, J., Wei, R., Liang, S., Li, C., & Xie, H. (2014). Nutrient removal in constructed wetlands using different aquatic plants for treatment of eutrophic river water. *Ecological Engineering*, 70, 560–566.
- Zhang, Y., Zhou, Q., Sun, T., Ren, L. (2014). Role of *Phragmites australis* in pollutant removal in constructed wetlands : Mechanisms and performance. *Ecological Engineering*, 70, 57–66.

Les Références Bibliographiques

- Zeghoud Mohamed S. 2014, Étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, Hydraulique, Master. EL-Oued : Université El-Oued, P 16.
- Zhou, Q., et al. (2017). Role of macrophytes in water quality improvement : A review. *Ecological Engineering*, 98, 65–75.
- Zhang, Y., Chen, Y., & Xie, X. (2018). Oxygen consumption and microbial activity in the rhizosphere of constructed wetland plants. *Ecological Engineering*, 116, 100–107.
- Zhou, Y., Liu, X., & Zhang, W. (2022). Performance of Macrophytes in Reducing Salinity and Dissolved Solids in Wastewater Treatment Systems. *Journal of Environmental Management*, 320, 115783.
- Zhi, W., Ji, G., & Deng, Y. (2022). Fate of organic pollutants in plant-based treatment systems : Role of vegetation in pollutant removal. *Environmental Pollution*, 298, 118859.

