



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY
كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES
قسم
البيولوجيا



Mémoire de Fin d'Études
Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en
« **Toxicologie Industrielle et Environnementale** »

Thème

**Évaluation du potentiel épurateur des grands hélophytes dans
la zone humide de Boussedra (Annaba) : approche physico-
chimique et écologique**

Présenté Par : **Meziane Takoua Allah et Meziane Amani**

Soutenue publiquement le : 17/06/2026

devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
TOUIL Widad	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
SAADI Manel	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
ARIF Salah	MRB	Centre de Recherche en Environnement	Co-directeur de mémoire
FELLAH Imane	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail, pour la grâce de son souffle bienfaisant et ses innombrables bienfaits qui ont éclairé notre parcours.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrante, Dr Saadi Manel, pour ses précieux conseils, son accompagnement et son aide tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à notre co-encadreur, Dr Arif Salah, pour sa contribution à la réalisation de ce travail, notamment lors des sorties de terrain.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui, par leur expertise, ont accepté d'évaluer et d'honorer notre travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance à la Division de Biodiversité et environnement du Centre de Recherche en Environnement, pour son aide précieuse sur le terrain, ainsi que pour l'élaboration des cartes et l'identification des plantes, notamment au Pr Tiar Ghoulem, Pr Daridi Khalil, Dr Bechker Ali et Dr Mallem Mohcene.

À nos amis et collègues qui ont partagé ce parcours avec nous, nous adressons un sincère merci, car chaque étape de cette aventure a été enrichie par leur présence.

Nous tenons également à remercier respectueusement les responsables administratifs et pédagogiques de l'Université de Chadli Ben Djedid El Tarf pour leur soutien et leur disponibilité.

Nous nous remercions également mutuellement pour notre coopération, notre compréhension et notre esprit d'équipe durant la préparation de ce travail.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.



Dédicace

Je dédie ce modeste Travail :

À ma chère Mère

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments,
mon amour, ma vie et ma reconnaissance pour tes
sacrifices, pour ton aide pour mon bien être et continue
ce travail. Merci pour cet amour, cette tendresse et
soutien et prières pour moi tout le temps toi et mon père*

À ma sœur et âme sœur Amani

*je vous remercie pour vos efforts et votre patience avec
moi tout le temps, et je remercie Dieu d'être à mes côtés.
sans votre aide, nous n'en serions pas arrivés là.*

Mes sœurs et frères

A tous mes amis et mes collègues de travail,

A tous ce qui me connaît

Takoua





Dédicace

Je dédie ce modeste Travail:

A mes chers parents:

*A mon père et ma mère. Les plus chers, pour tous le
soutien et l'amour que vous me. Portez de puis mon
enfance et pour leur potence et leurs encouragements*

Mes frères

A tous mes amis et mes collègues de travail,

À tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime

À ma sœur et âme sœur Takoua

*Ma sœur, qui a toujours été à mes côtés, merci beaucoup
pour ton soutien et pour avoir été à mes côtés tout au long
de mes études*

Amani

Résumé

Le marais de Boussedra, situé dans la wilaya d'Annaba, est une zone humide périurbaine soumise à plusieurs pressions anthropiques. Ce travail vise à caractériser la qualité physico-chimique de ses eaux et à analyser la répartition des grands hélophytes afin de discuter leur rôle potentiel dans le fonctionnement épurateur naturel du site. L'étude a été réalisée durant l'année 2025/2026 à partir de sorties de terrain, d'observations floristiques, de relevés GPS et de mesures physico-chimiques in situ. Les points de mesure ont été répartis en quatre secteurs : Nord, Sud, Est et Ouest. Les paramètres étudiés ont ensuite été comparés à la répartition des hélophytes, aux habitats et à la bathymétrie du marais.

Les résultats montrent que le marais présente une eau alcaline, relativement minéralisée et fortement turbide. Les concentrations en nitrates sont plus élevées dans les secteurs Sud et Ouest, qui correspondent aussi aux zones où les formations hélophytiques sont plus marquées. La végétation est dominée par *Typha domingensis*, accompagnée par *Arundo donax*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus*. Ces espèces se développent surtout dans les bordures, les zones peu profondes et les espaces de transition entre les apports extérieurs et l'eau libre.

Ainsi, les hélophytes du marais de Boussedra peuvent être considérées comme un compartiment important du fonctionnement écologique du site. Leur présence appuie l'idée d'un potentiel épurateur naturel lié à la rétention des particules, à la stabilisation des substrats et aux interactions entre l'eau, les sédiments, les microorganismes et la végétation.

Mots clés : Boussedra, hélophytes, qualité de l'eau, *Typha domingensis*, paramètres physico-chimique, zone humide, potentiel épurateur.

ABSTRACT

The Boussedra marsh, located in the province of Annaba, is a peri-urban wetland exposed to several anthropogenic pressures. This work aims to characterize the physicochemical quality of its waters and to analyze the distribution of large helophytes in order to discuss their potential role in the natural purification functioning of the site. The study was carried out during 2025/2026 through field surveys, floristic observations, GPS recordings and in situ physicochemical measurements. The measurement points were divided into four sectors: North, South, East and West. The studied parameters were then compared with the distribution of helophytes, habitats and bathymetry of the marsh.

The results show that the marsh has alkaline, relatively mineralized and highly turbid water. Nitrate concentrations are higher in the South and West sectors, which also correspond to the areas where helophytic formations are more developed. The vegetation is dominated by *Typha domingensis*, accompanied by *Arundo donax*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* and *Iris pseudacorus*. These species mainly develop along the margins, in shallow areas and in transition zones between external inputs and open water.

Thus, the helophytes of the Boussedra marsh can be considered an important compartment of the site's ecological functioning. Their presence supports the idea of a natural purification potential linked to particle retention, substrate stabilization and interactions between water, sediments, microorganisms and vegetation.

Keywords: Boussedra, helophytes, water quality, *Typha domingensis*, physicochemical parameters, wetland, purification potential.

ملخص

يُعدّ مستنقع بوسدرة، الواقع بولاية عنابة، منطقة رطبة شبه حضرية تخضع لعدة ضغوط بشرية. يهدف هذا العمل إلى توصيف الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياهه وتحليل توزيع النباتات الهيلوفيتية الكبيرة، من أجل مناقشة دورها المحتمل في آليات التنقية الطبيعية داخل الموقع. أنجزت الدراسة خلال السنة 2026/2025 اعتمادًا على خرجات ميدانية، وملاحظات فلورية، وتسجيلات بواسطة جهاز PSG، وقياسات فيزيائية وكيميائية في الموقع. وُزعت نقاط القياس على أربعة قطاعات: الشمال، الجنوب، الشرق والغرب. ثم تمت مقارنة المعايير المدروسة مع توزيع النباتات الهيلوفيتية، والموائل، والقياسات الباثيمترية للمستنقع.

أظهرت النتائج أن مياه المستنقع قلوية، ذات تمعدن نسبي، وعكارة مرتفعة. كما كانت تراكيز النترات أعلى في القطاعين الجنوبي والغربي، وهي أيضًا المناطق التي تظهر فيها التشكيلات الهيلوفيتية بشكل أوضح. ويضم الغطاء النباتي الأنواع التالية: *Typha domingensis*, *Arundo donax*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* and *Iris pseudacorus* وتنمو هذه الأنواع خاصة على الحواف، وفي المناطق الضحلة، ومناطق الانتقال بين المدخلات الخارجية والمياه المفتوحة.

وعليه، يمكن اعتبار النباتات الهيلوفيتية في مستنقع بوسدرة مكونًا مهمًا في الوظيفة البيئية للموقع. فوجودها يدعم فكرة وجود قدرة طبيعية محتملة على التنقية، مرتبطة باحتجاز الجزيئات، وتثبيت الركائز، والتفاعلات بين الماء والرواسب والكاننات الدقيقة والغطاء النباتي.

الكلمات المفتاحية: بوسدرة، النباتات الهيلوفيتية، جودة المياه، *Typha domengensis*, *Arundo donax*, *Phragmites australis* المعايير الفيزيائية والكيميائية، منطقة رطبة، القدرة على التنقية.

TABLE DES MATIERES

Résumé	IV
ABSTRACT	V
I. Introduction	1
II. Matériel et Méthodes	4
II. 1. Présentation de la région d'étude (plaine d'Annaba).....	4
II.1.1. Description générale et localisation	4
II.1.2. Présentation du site d'étude (marais de Boussedra).....	4
II. 2. Modèle biologique : Les grands hélrophytes	9
II.2.1. Généralités sur les hélrophytes.....	9
II.2.2. Espèces étudiées.....	9
II.2.2.3. Le roseau géant <i>Arundo donax</i>	13
II.3. Méthodologie	15
II.3.1. Période d'étude et fréquence des sorties	15
II.3.2. Critères de choix des stations.....	15
II.3.3. Identification des végétaux	16
2.4. Relevés GPS	16
2.5. Mesures physico-chimiques in situ.....	17
2.6. Paramètres physico chimique et organique	18
2.6.1. La température de l'eau	18
2.6.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	18
2.6.3. La conductivité électrique	19
2.6.4. La salinité	19
2.6.5. L'oxygène dissous (OD)	20
2.6.6. La turbidité	20
2.6.7. Les matières en suspension (MES).....	20
III. Résultats	22
III.1. Identification des plantes hélrophytes.....	22
III.1.1. Formation à <i>Typha domingensis</i>	22
III.1.2. Formation à <i>Arundo donax</i>	22
III.1.3. Formations à <i>Phragmites australis</i>	23
III.1.4. Autres hélrophytes présentes : <i>Schoenoplectus lacustris</i> et <i>Iris pseudacorus</i>	23
III.2. Répartition spatiale des hélrophytes dans le marais de Boussedra	23
III.2.1. Répartition des formations dominantes	23
III.2.2. Répartition des espèces associées.....	24

III.3. Caractérisation physico-chimique du milieu par secteur.....	25
III.3.1. Température de l'eau	26
III.3.2. pH (Potentiel hydrogène).....	26
III.3.3. Conductivité électrique.....	27
III.3.4. Solide dissous (TDS).....	28
III.3.5. Oxygène dissous	28
III.3.6. Turbidité	29
III.3.7. Salinité (PSU).....	30
III.3.8. Nitrates	30
III.3.9. ammonium (NH_4^+).....	31
III.4. Comparaison spatiale entre les formations hélrophytiques et les indicateurs de pollution.....	32
III.4.1. Lecture de la carte bathymétrique.....	32
III.4.2. Analyse des cartes de distribution des paramètres physico-chimiques.....	33
III.4.3. Synthèse des résultats cartographiques.....	35
IV. Discussion.....	36
IV.1. Pressions anthropiques et maintien du fonctionnement écologique du marais.....	36
IV.2. Évaluation générale de l'état physico-chimique du marais de Boussedra	37
IV.3. Organisation des hélrophytes, habitats préférentiels et valeur indicatrice	39
IV.4. Rôle des hélrophytes dans le fonctionnement épurateur du marais	40
IV.5. Bathymétrie, paramètres physico-chimiques et répartition des hélrophytes	42
V. Conclusion et perspectives	44
VI. References bibliographiques	47

LISTE DE FIGURES

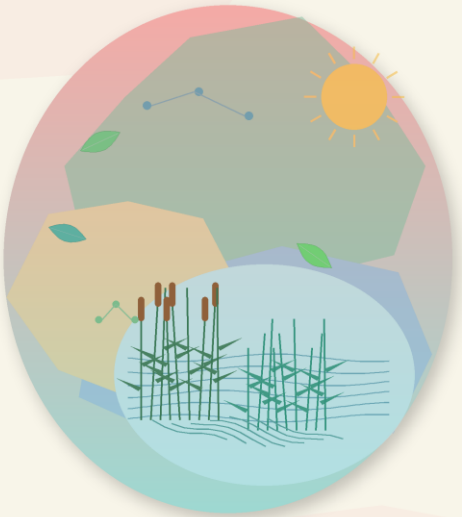
Figure 1. Situation géographique de la wilaya d'Annaba (Allout, 2013).....	4
Figure 2. Carte de localisation du site Boussedra.....	5
Figure 3. Diagramme ombrothermique de Gaussen (Moyennes annuelles 1998-2008) (In Hennouni, 2024).....	6
Figure 4. Humidité relative de la station météorologique d'Annaba 1998/2018.....	7
Figure 5. <i>Typha domingensis</i> Pers (SAADI)	10
Figure 6. <i>Phragmites australis</i> (Saadi, 2026).....	12
Figure 7. Photo de <i>Arundo donax</i> (Saadi, 2026).	15
Figure 8. GPS portable Garmin GPS 72H utilisé pour le relevé des coordonnées géographiques des points de prélèvement.	17
Figure 9. Valise multiparamètres portable HANNA Instruments HI9828 utilisée pour les mesures physico-chimiques in situ.	18
Figure 10. Ceinture à <i>Typha domingensis</i> et <i>Arundo donax</i> occupant les bordures du marais (SAADI).....	24
Figure 11. Formations à <i>Schoenoplectus lacustris</i>	25
Figure 12. Carte des principaux habitats naturels du marais de Boussedra, montrant la position des typhaies et des formations à grandes cannes par rapport au plan d'eau et aux zones anthropisées.	25
Figure 13. La variation de la température moyenne entre les sites d'étude.....	26
Figure 14. La variation du pH moyen entre les sites d'étude.	27
Figure 15. La conductivité électrique moyenne pour chacun des quatre sites d'étude.....	27
Figure 16. Les valeurs des solides dissous totaux moyennes enregistrées dans les quatre secteurs.....	28
Figure 17. La concentration moyenne en oxygène dissous pour chaque site étudié.	29
Figure 18. La turbidité moyenne enregistrée dans les quatre sites étudiés.	29
Figure 19. La salinité (en PSU) pour les quatre sites étudiés.	30
Figure 20. Les concentrations moyennes en nitrates pour les quatre sites d'étude.	31
Figure 21. Les concentrations moyennes en nitrates pour les quatre sites d'étude.	31
Figure 22. Carte bathymétrique du marais de Boussedra.	33
Figure 23. Distribution spatiale des principaux indicateurs de pollution et de fonctionnement du marais de Boussedra.	35

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 01. Moyenne mensuelle du taux d'hygrométrie enregistrée de la station météo d'Annaba.	7
Tableau 2. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques par secteur.	26



INTRODUCTION



I. Introduction

Les zones humides jouent un rôle fondamental dans le maintien de la biodiversité et le contrôle de la qualité des eaux. Ces habitats aquatiques jouent souvent le rôle de “zones tampons” : elles absorbent et retiennent une partie des apports provenant des activités humaines (nutriments, charge organique, métaux lourds, etc), par de processus naturels (sédimentation, adsorption, transformations microbiennes) qui réduisent la toxicité de certains contaminants (Ferreira et al, 2023). Il est donc capital de comprendre comment et jusqu'à quelles limites ces milieux peuvent réduire la pollution, à la fois pour la préservation des écosystèmes et pour une gestion durable de l'eau.

Dans ce processus, les plantes aquatiques jouent un rôle essentiel dans ce type d'habitat, particulièrement les plantes héliophytes. Ces plantes, ayant des racines immergées dans des sols gorgés d'eau et des parties aériennes émergentes, sont adaptées à des milieux aquatiques instables et riches en nutriments. Elles ont un rôle écologique essentiel : filtration et absorption des nutriments et polluants, bioaccumulation de métaux lourds, stabilisation des sols et offrent ainsi un habitat pour la faune aquatique, en particulier les invertébrés et les oiseaux (Stottmeister et al., 2003 ; Belouahem-Abed, 2012). Par ailleurs, elles contribuent à la capture des particules en suspension, stimulent l'activité microbienne au niveau de la rhizosphère et participent ainsi à la diminution des nutriments et d'autres contaminants présents dans l'eau, renforçant les processus naturels d'épuration (Vymazal, 2010). Ces caractéristiques font des héliophytes des bioindicateurs importants de la qualité des milieux aquatiques et de la santé des écosystèmes, qui est un axe très pertinent dans le domaine de la toxicologie environnementale.

Le marais de Boussedra, situé dans une zone périurbaine dans la wilaya d'Annaba, représente un exemple typique de zone humide soumise à de fortes pressions anthropiques. Ces milieux sont importants pour la biodiversité régionale et mondiale. Ils représentent aussi une étape pour de nombreuses espèces d'oiseaux aquatiques migratrices (Samraoui & Samraoui, 2008 ; Draïdi et al., 2023). Selon Samraoui & Samraoui (2008), les zones humides d'Algérie ont un rôle donc déterminant dans la conservation des oiseaux aquatiques, en particulier pour les milieux qui répondent aux critères des aires importantes pour la conservation des oiseaux (IBA). La recherche de Draïdi et al. (2023) confirme aussi que le marais de Boussedra héberge une variété exceptionnelle d'oiseaux aquatiques, comprenant plusieurs espèces migratrices et en danger, dont son importance écologique.

Cependant, le marais fait face à des pressions croissantes liées à l'urbanisation, au pompage intensif des eaux, à l'augmentation des rejets domestiques et industriels, ainsi qu'à la modification de l'hydrologie naturelle du site (Draïdi et al., 2023). Ces facteurs peuvent affecter directement la composition, la répartition et la santé des communautés végétales et animales, notamment les héliophytes, réduisant potentiellement la capacité du marais à assurer ses fonctions écologiques essentielles.

En conséquence du nouveau plan d'occupation des sols de la commune d'El-Bouni et à la construction continue de nouvelles bâtisses, la partie septentrionale du marais est devenue une zone de dépôt et d'enfouissement de remblais et de décapage des montagnes avoisinantes, aboutissant ainsi au rétrécissement de plus de 30 % du plan d'eau jusqu'à 2011 (Samraoui et al., 2012).

La biodiversité du marais de Boussedra se caractérise par une très grande richesse floristique, dominée par des espèces telles que : *Typha* sp, *Phragmites australis*, *Arundo*.

Ces plantes possèdent des capacités épuratoires sur leur environnement (eau et sédiment) en diminuant la teneur de certains composés, comme l'azote et le phosphore, en les intégrant dans leur biomasse. Elles contribuent à la diversification des habitats en fournissant des refuges pour les animaux tels que les poissons, les invertébrés aquatiques, les oiseaux et les mammifères, et représentent une source de nourriture pour les herbivores (Sand Jensen et Borum, 1991).

Leur longévité étant plus élevée que celle des microalgues, elles répondent lentement aux changements des conditions environnementales sur plusieurs années.

Compte tenu de tous ces rôles ainsi que de la diversité de leurs traits biologiques et morphologiques, de nombreux auteurs se sont intéressés à la classification des plantes aquatiques (Otto-Bruc, 2001), notamment en fonction de leur mode de fixation au substrat, de leur biologie ou encore de leurs adaptations éco- morphologiques (Arber, 1920 ; Den Hartog et Segal, 1964 ; Den Hartog et Van Der Velde, 1988 ; Nigel et al., 2000). En outre, ces 20 dernières années, les grands héliophytes sont utilisées comme bioindicateurs de l'état écologique des zones rivulaires, ces organismes permettent de connaître les effets d'une pollution chronique sur un écosystème aquatique à la fois dans le temps et dans l'espace.

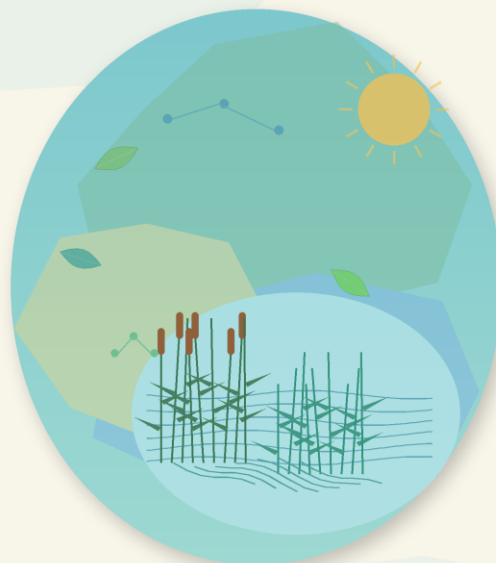
Le présent travail vise à caractériser la qualité de l'eau dans les différents secteurs du marais et à analyser les conditions environnementales associées aux formations héliophytiques dominantes. Le rôle potentiel des héliophytes dans les processus naturels d'épuration est discuté à partir des données physico-chimiques obtenues sur le terrain et des connaissances déjà établies dans la littérature scientifique. Ainsi, cette étude a pour objectifs de :

- Caractériser la qualité physico-chimiques des eaux de différentes stations.

- Identifier et décrire les peuplements végétaux hélrophytiques présentes et dominants.
- Décrire leur répartition spatiale et de discuter leur contribution potentielle au fonctionnement épurateur naturel de cette zone humide.



MATÉRIEL ET MÉTHODES



Cette zone humide est un exemple typique de fragment des zones humides méditerranéennes (Battisti et al., 2008 ; Paracuellos, 2008). Elle est désormais intégrée dans un paysage urbain dense. Elle est limitée à l'est par des bidonvilles, au sud par des usines agroalimentaires et une voie ferrée, et au nord-ouest par des agglomérations urbaines proches. Ce contexte rend le site particulièrement exposé à diverses pressions : pollution, artificialisation des berges, dérangements anthropiques.

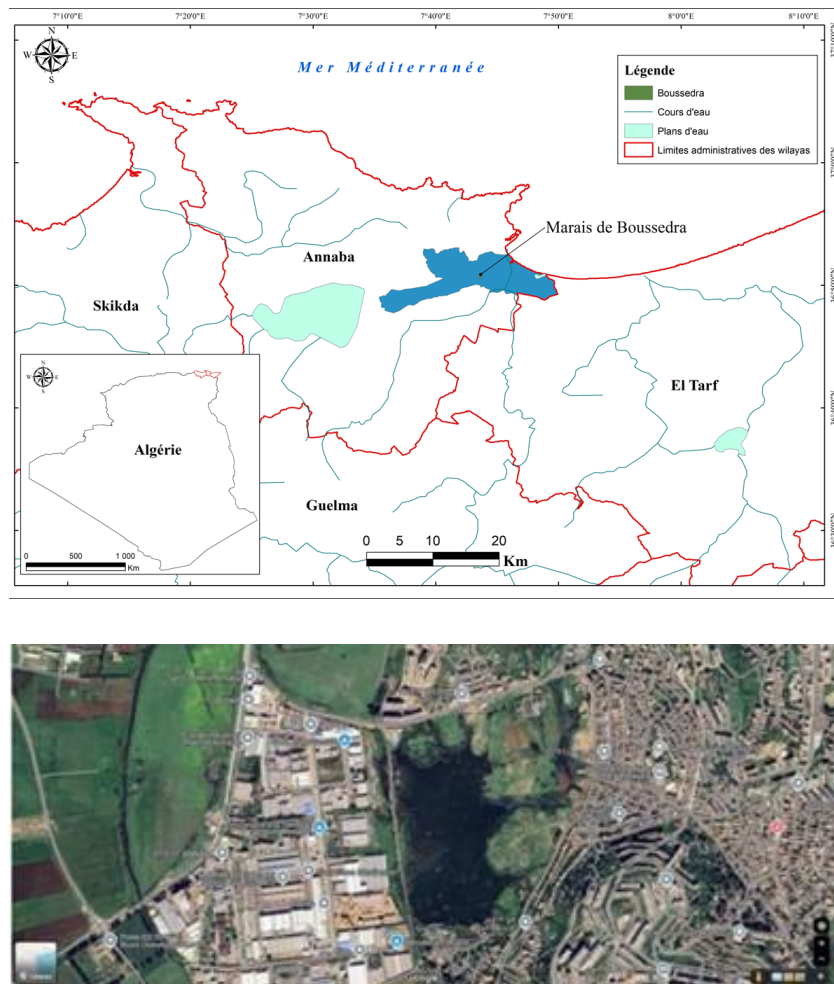


Figure 2. Carte de localisation du site Boussedra.

II.1.2.1. Climatologie générale

Les données climatiques ont été recueillies depuis les stations météorologiques les plus proches du site d'étude. La région étudiée fait partie des zones les plus arrosées d'Algérie et se situe sur le littoral méditerranéen. Le climat est de type méditerranéen subhumide à hiver doux et humide et été chaud et sec, avec un pic de précipitation en mois de mars et une période sèche très courte s'étalant du début de juin jusqu'à la fin de mois d'août (Fig. 3). La pluviométrie annuelle conditionne directement la superficie en eau libre et la profondeur du marais.

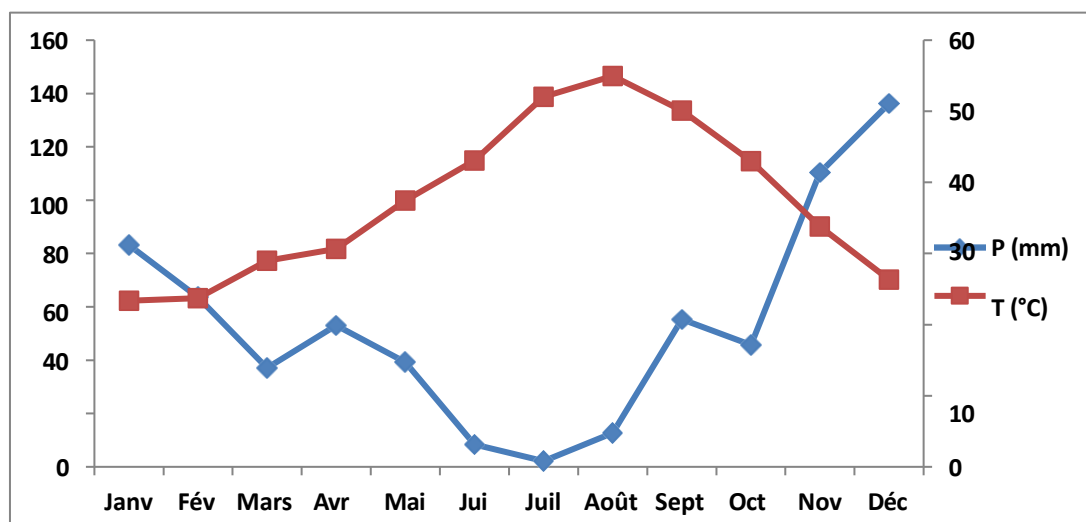


Figure 3. Diagramme ombrothermique de Gaussen (Moyennes annuelles 1998-2008) (In Hennouni, 2024).

II.1.2.1.1. La température

La température moyenne annuelle est d'environ 17°C, avec une température maximale atteignant 30°C au mois d'août et une température minimale d'environ 7°C enregistrée durant les mois de janvier et de février (Chettibi, 2014).

II.1.2.1.2. La précipitation

Les précipitations annuelles sont relativement abondantes, avec une pluviométrie annuelle totale d'environ 600 mm. Les précipitations sont plus importantes durant la saison hivernale, atteignant un maximum d'environ 100 mm pendant les mois de janvier et de décembre. En revanche, elles deviennent très faibles durant la saison estivale, avec un minimum pouvant atteindre 0 mm au mois de juillet.

Le diagramme pluviothermique de Gaussen montre une saison sèche allant approximativement de la mi-avril à la mi-septembre, et une saison humide durant le reste de l'année (Fig. 4).

II.1.2.1.3. L'humidité

Dans la région étudiée, le taux d'humidité reste élevé aussi bien en hiver qu'en été. La moyenne maximale atteint 78,13 % au mois de février, tandis que la moyenne minimale est d'environ 66,66 % au mois de juin.

Tableau 01. Moyenne mensuelle du taux d'hygrométrie enregistrée de la station météo d'Annaba (1998–2018).

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
H'Moy	76,66	78,13	75,67	75,67	73,33	75,07	66,66	67,88	71,66	73,11	74,67	76,33

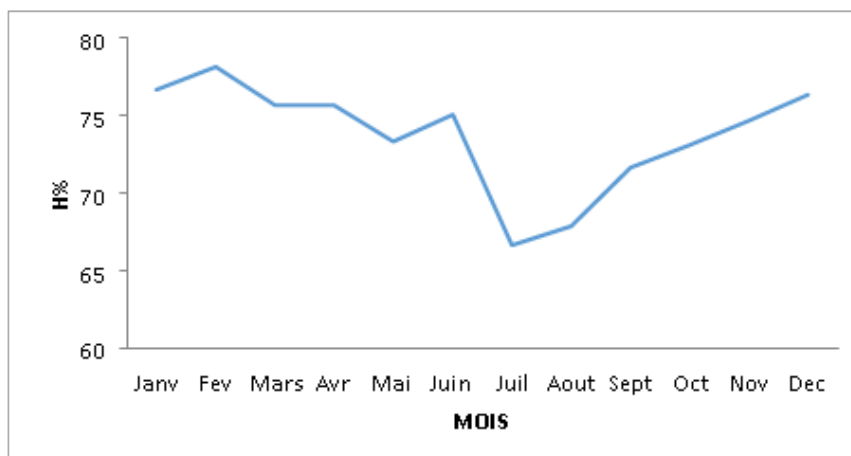


Figure 4. Humidité relative de la station météorologique d'Annaba 1998/2018

La région d'Annaba prend une place dans le climagramme d'Emberger dans l'étage bioclimatique subhumide tempérée, pluvieux en hiver et sec en été (de type méditerranéen). L'insolation est considérable en été avec un maximum de 356 h en juillet et un minimum de 98,9 h en décembre. Les précipitations sont rares en été et sont importantes en hiver avec un maximum de 136,16 mm en décembre et un minimum de 4,22 mm en juillet (Mejelekh et El Ganaoui, 2012).

II.1.2.1.4. Les vents

La direction dominante des vents dans la région est orientée Nord-Est/Sud-Ouest (Mejelekh et El Ganaoui, 2012). Toutefois, les vents les plus fréquents proviennent du secteur Nord-Ouest et soufflent généralement suivant l'axe Nord-Ouest/Sud-Est, avec une vitesse moyenne annuelle d'environ 2,4 m/s. À l'inverse, les vents les moins fréquents sont ceux provenant du Sud-Est et du Sud-Ouest, avec une vitesse moyenne annuelle d'environ 2 m/s. La vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois de décembre, tandis que la plus faible est observée au mois de février (Lahlah, 2011).

II.1.2.2 Flore

Le marais de Boussedra constitue un milieu palustre favorable au développement d'une végétation riche et diversifiée. Le couvert végétal est composé d'environ 86 espèces réparties en 42 familles.

Il est dominé par de hélophytes ainsi que des formations palustres abondantes et bien structurées, notamment *Scirpus maritimus*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis* et *Scirpus lacustris*, *Tamarix gallica*. La bande de *Tamarix gallica*, située au sud du marais, joue un rôle majeur comme un site de nidification d'une colonie mixte d'environ 500 nids d'oiseaux (Samraoui et Samraoui, 2008 ; Samraoui et al., 2012 ; Chettibi, 2014 ; Boudraa, 2015 ; Talbi et al., 2021).

II.1.2.3. Faune

La richesse faunistique du marais de Boussedra est particulièrement remarquable. On y observe une diversité notable d'odonates (libellules et demoiselles), d'orthoptères (sauterelles, criquets) et de lépidoptères, dont plusieurs espèces sont d'intérêt patrimonial (Chettibi, 2013). De plus, le marais est un site à une valeur ornithologique importante. Plusieurs études ont confirmé la présence de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau, nicheuses ou migratrices notamment des Anatidés, Rallidés, Charadriidés, Threskiornithidés, Podicipédidés et Ciconiidés (Aouadi, 2022). Plusieurs espèces à forte valeur patrimoniale ou conservatoire nidifiant au site : *Ixobrychus minutus*, *Ardeola ralloides*, *Aythya nyroca*, *Oxyura leucocephala*, *Gallinula chloropus*, *Porphyrio porphyrio*, *Fulica atra*, ainsi que divers hérons nicheurs (Aouadi, 2022). La présence régulière de l'érismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*), une espèce mondialement menacée, confère une valeur internationale au site (BirdLife International, 2021). Samraoui al., (2012) signale l'existence d'une colonie de Blongios nain *Ixobrychus minutus*. De plus, *Tamarix gallica* constitue un support de nidification majeur pour plusieurs Ardéidés, notamment *Bubulcus ibis*, *Nycticorax nycticorax*, *Egretta garzetta* et *Ardea purpurea* (Samraoui & Samraoui, 2008 ; Samraoui et al., 2012).

La biodiversité de Boussedra ne se limite pas à l'avifaune. Plusieurs autres espèces animales ont également été observées, parmi lesquelles la tortue aquatique (*Emys orbicularis*, *Mauremys leprosa*) (Ghai, 2025), différentes espèces de grenouilles, des lézards, des rats ainsi que la couleuvre d'eau (*Natrix maura*). La présence du triton de Poiret *Pleurodeles poireti* renforce encore l'importance patrimoniale du site patrimoniale (Samraoui et al., 2012).

Par ailleurs, les travaux sur les macroinvertébrés montrent que la richesse de ces communautés est fortement influencée par la diversité de la végétation aquatique (Aouadi, 2022). Enfin, les études phytoplanctoniques indiquent que le marais abrite une communauté algale diversifiée dominée par les Chrysophytes, Euglénophytes et Chlorophytes, ainsi qu'un compartiment microbien riche mais sensible aux apports nutritifs et à la pollution (Benchabane & Merzoug, 2015 ; Harridi et al., 2020).

II. 2. Modèle biologique : Les grands hélophytes

II.2.1. Généralités sur les hélophytes

Les hélophytes sont des plantes semi-aquatiques, capables de croître avec leurs parties inférieures immergées, tandis que leurs organes aériens émergent au-dessus de la surface. Ces espèces possèdent un développement végétatif vigoureux et des systèmes racinaires denses et fibreux (Didier et al., 2025). Ces végétaux occupent une place essentielle dans le fonctionnement écologique des zones humides.

Les grands hélophytes contribuent dans plusieurs processus écologiques majeurs. Ils jouent un rôle dans la rétention des matières en suspension, à l'absorption d'une partie des nutriments dissous, à la stabilisation du substrat et au maintien d'une activité microbienne importante dans la rhizosphère (Colette et al., 2023). Leur système racinaire favorise le ralentissement de l'écoulement de l'eau, le piégeage des particules fines et l'installation de microorganismes impliqués dans la dégradation de la matière organique (Preiner et al., 2020 ; Stottmeister et al., 2003). En parallèle, leurs tissus végétaux peuvent absorber une partie des éléments dissous, notamment certains nutriments tels que l'azote et le phosphore (Preiner et al., 2020 ; Vymazal et al., 2023). Ils sont donc d'excellents bioindicateurs de l'état écologique des milieux humides et constituent un bon support pour l'évaluation du potentiel épurateur des marais (Li et al., 2023 ; Di Giorgi, et al., 2025).

II.2.2. Espèces étudiées

II.2.2.1. Massette (*Typha domingensis*)

II.2.2.1.1. Description :

Typha domingensis est une herbe rhizomateuse pérenne. Il se présente avec des tiges non ramifiées et sans nœud. Ces tiges peuvent atteindre à maturité une hauteur de 3,5 m. Elles ont une base épaissie d'où émanent des rhizomes. La largeur des feuilles varie entre 1 et 2 cm. C'est une espèce qui se développe sur des sols humides, notamment sur les sédiments aquatiques des estuaires, des lacs et des fleuves (Sarr, 2003).

Un bon développement de *Typha domingensis* requiert en général une profondeur d'eau ne dépassant pas 1,50m ; un taux de salinité ne dépassant pas 2‰. *Typha* peut croître également dans les eaux saumâtres.

Adam (1964) a signalé six (6) conditions nécessaires à un bon développement de la typhaie à savoir : de l'eau douce, pouvant devenir saumâtre pendant une assez longue période, un sol pouvant s'assécher ou non pendant plusieurs mois sans ou avec des remontées salines, les rhizomes doivent, pendant la période de repos rester dans un milieu saturé d'humidité, non ou peu saumâtre

La plante peut résister à des oscillations de la nappe d'eau de plus d'un mètre. Le sol peut être indifféremment du sable, du calcaire, de la marne ou du limon argileux, l'acidité doit être légère.

II.2.2.1.2. Classification :

Règne : Plantae

Phylum : Streptophyta

Classe : Equisetopsida

Sous-classe : Magnoliidae

Ordre : Poales

Famille : *Typhaceae*

Genre : *Typha*

Espèce : *Typha domingensis* (Pers., 1807)



Figure 5. *Typha domingensis* Pers (SAADI)

II.2.2.1.3. Reproduction

La reproduction de *Typha* se fait autant par graines que par les rhizomes. Elle fleurit généralement entre Mai et Juin. La floraison dépend des conditions du milieu mais surtout du taux d'humidité et de la salinité.

A la maturité de la plante, il apparaît une inflorescence ayant la forme d'une chandelle de 15 à 20 cm de long et de couleur brune à maturité. Cette inflorescence renferme de très nombreuses fleurs. Les fruits mûrissent entre Août et Septembre. Les milliers de graines produites peuvent germer en l'absence quasi totale d'oxygène. Cependant la germination exige une luminosité intense, une humidité permanente du

sol et une température relativement élevée (Apfelbaum, 2000). La dissémination est facilitée par le vent et la présence permanente de l'eau. C'est ainsi que sur certains plans d'eau, Typha prolifère rapidement.

La reproduction végétative se fait à partir des rhizomes. A la base des feuilles, se trouvent en effet des rhizomes latéraux. Chaque rhizome peut donner naissance à une ou plusieurs tiges étant donné leur grande capacité de multiplication. Contrairement aux graines qui peuvent germer dans des conditions d'anaérobiose quasi totale, la multiplication végétative ne peut se faire qu'en présence d'oxygène : un sol saturé, pauvre en O₂ ne permet pas le développement de nouveaux rhizomes, à moins que l'O₂ ne soit puisé au niveau aérien par les feuilles et ne soit acheminé vers les rhizomes en profondeur (Henning, 2001).

II.2.2.2. Roseau commun (*Phragmites australis*)

II.2.2.2.1. Présentation générale

Phragmites australis, connu sous le nom de roseau commun ou « Gueseb » (Chehma AM., 2006). C'est une plante herbacée vivace de la famille des *Poaceae*, largement répandue dans les milieux humides. Cette espèce se développe préférentiellement dans les marais, les berges, les fossés et les plaines inondables, où elle peut former des peuplements denses appelés roselières. C'est les plantes vasculaires / graminées les plus largement distribuées à l'échelle mondiale (Claude L., 2007), occupant souvent une , 184aux stratégies adaptatives qui marquent son cycle biologique (Baran M. et al., 2000). Sa phase de végétation correspond à la période de floraison qui a lieu en avril et mai (Chehma A M., 2006). Une fois implanté dans un environnement favorable, le roseau peut s'étendre rapidement et coloniser de vastes surfaces (Mal T K., Narine L., 2004).

II.2.2.2.2. Classification : Selon (Jean P C., 2013)

Embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Sous-classe : Commélinidées

Ordre : Poales

Famille : Poacées

Genre : *Phragmites*

Espèce : *Phragmites australis* (Steud, 1841).

II.2.2.2.3. Description :

Le roseau commun *Phragmites australis*, est une plante herbacée vivace semi-aquatique appartenant à la famille des *Gramineae* (*Poaceae*) (Scholz et al., 2001). C'est une espèce hydrophile qui se trouve naturellement dans les milieux humides ou les plaines inondables, comme les marais d'eau douce, les rives des fleuves, les rivières et les lacs (Mal et Narine, 2004). Elle présente une grande résistance aux sols très argileux ou rocaillieux, supporte les variations extrêmes de température et s'adapte facilement aux périodes d'inondation comme à celles de sécheresse (Fauteux, 2002). Le roseau est l'une des plantes vasculaires les plus répandues dans le monde (Mal et Narine, 2004 ; Giudice et Bonanno, 2010). C'est une plante à croissance très rapide qui porte des tiges atteignant généralement jusqu'à 5 mètres de hauteur, et 4 à 10 millimètres de diamètre. Le roseau a la particularité de former un tissu racinaire horizontal et vertical (rhizomes) assurant une grande surface de contact entre le sol et les eaux. Ses feuilles sont rubanées lisses de 20 à 70 cm de long et de 1 à 5 cm de large.

Elle se distingue par une inflorescence dense constituée d'une grande panicule souple et plumeuse de couleur brun-rouge, avec des épillets pédicellés étroits et pointus comportant de 3 à 7 fleurs. La floraison se produit entre les mois de juillet et novembre (Vymazal et al., 2007).



Figure 6. *Phragmites australis* (Saadi, 2026)

II.2.2.2.4. Bio écologie

Le roseau se distingue par ses propriétés biologiques remarquables. De nombreuses études ont montré l'efficacité de ce macrophyte dans la lutte contre la pollution des eaux et des sols. En effet, grâce à son système racinaire très développé, cette plante possède une forte capacité à absorber et à accumuler des quantités significatives de polluants, en particulier les métaux lourds (Giudice et Bonanno, 2010 ; Kleche et al., 2013).

Elle présente une forte tolérance au zinc, plomb, fer, cuivre et au cadmium (Ait Ali et al., 2004). Ces éléments traces accumulés sont transportés ensuite vers les parties aériennes sous forme cationique liée

aux acides organiques et/ou acides gras à courte chaîne aliphatique (fumarique, citrique, oxalique, propionique, butyrique) où sont stockés finalement dans les vacuoles des cellules foliaires (Windham et al., 2003 ; Kleche et al., 2013).

Le réseau racinaire dense de cette plante joue un rôle essentiel dans l'épuration des eaux usées en facilitant la colonisation par les bactéries épuratrices. En effet, ces racines hébergent une flore bactérienne abondante, chargée de dégrader la matière organique, qui devient ainsi assimilable par la plante (Medjdoub, 2014).

II.2.2.3. Le roseau géant *Arundo donax*

II.2.2.3.1. Présentation générale

Le roseau géant (*Arundo donax* L.) est une plante herbacée vivace, appartenant à la famille des graminées, présente dans les prairies et les zones humides sur une large gamme d'habitats climatiques. Elle possède un cycle photosynthétique de type C3, mais présente des taux élevés de photosynthèse et de productivité comparables à ceux des espèces de type C4 (Christou, 2001).

Arundo donax est une graminée vivace de milieux humides et riverains. Il se développe de manière optimale lorsque la nappe phréatique est proche de la surface du sol ou l'atteint. Elle s'établit dans des milieux humides tels que les fossés, les cours d'eau et les berges des rivières, avec une croissance maximale dans des sols bien drainés disposant d'une humidité abondante et d'un bon ensoleillement. *A. donax* montre également une préférence pour les zones présentant des niveaux élevés d'azote. Elle tolère une grande variété de conditions environnementales, notamment une forte salinité, et peut prospérer dans de nombreux types de sols, allant des argiles lourdes aux sables meubles. L'espèce est bien adaptée aux régimes de perturbations élevées propres aux systèmes riverains. (Benton et al., 2006 ; Ambrose & Rundel, 2007).

II.2.2.3.2. Classification :

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Poales

Famille : Poaceae

Genre : *Arundo*

Espèce : *Arundo donax* (Carl Von Linné, 1753).

II.2.2.3.3. Description :

Arundo donax est une graminée vivace, haute et dressée, de type canne ou roseau. Elle compte parmi les plus grandes graminées herbacées et peut atteindre une hauteur de 2 à 10 m (Al-Snafi, 2015 ; Bell, 1997). Son système racinaire est très robuste : des rhizomes charnus et rampants, forment des faisceaux compacts à partir desquels se développent des racines fibreuses pénétrant profondément dans le sol (Al-Snafi, 2015). Les rhizomes horizontaux donnent naissance à des touffes creuses, à plusieurs tiges, de type canne, lui permettant de former de vastes colonies s'étendant sur plusieurs mètres.

Les tiges individuelles, appelées chaumes, sont robustes et divisées par des cloisons au niveau des nœuds, à la manière du bambou ; chaque entre-nœud mesure de 12 à 30 cm de longueur et peut atteindre un diamètre de 1 à 4 cm, avec des parois épaisses de 2 à 7 mm maturité (Al-Snafi, 2015 ; Duke, 1983). Les tiges se ramifient généralement au cours de la deuxième année de croissance ; la ramification est le plus souvent simple, avec une seule branche latérale issue d'un nœud. Le tissu externe de la tige est de nature siliceuse, dur et cassant, avec une surface lisse et brillante qui devient jaune pâle lorsque le chaume est pleinement mature. Les feuilles, d'un vert bleuâtre pâle, embrassent largement la tige grâce à une base cordiforme munie de touffes de poils ; elles mesurent de 2 à 6 cm de largeur à la base et s'effilent vers une pointe fine, atteignant jusqu'à 70 cm ou plus de longueur. Les feuilles sont disposées de manière alternée le long du chaume et sont très nettement distiques, alignées dans un seul plan. Les chaumes peuvent rester verts toute l'année, mais pâlissent souvent en période de semi-dormance durant l'hiver ou en cas de sécheresse (Al-Snafi, 2015).

La reproduction végétative d'*Arundo donax* s'effectue par l'extension de ses rhizomes, capables de s'étendre sur plusieurs centaines de mètres. Les tiges tombées au sol peuvent également s'enraciner et produire de nouvelles repousses. Cette reproduction, particulièrement active entre mars et octobre, permet la formation de populations denses, pouvant atteindre jusqu'à 80 tiges/m² (Saltonstall, 2010).

La dispersion des fragments de rhizomes vers de nouveaux sites peut également se faire via les cours d'eau, les inondations ou les travaux du sol. Pour initier une nouvelle pousse, chaque fragment doit contenir au moins un nœud avec un bourgeon axillaire.



Figure 7. Photo de *Arundo donax* (Saadi, 2026).

II.3. Méthodologie

II.3.1. Période d'étude et fréquence des sorties

L'étude a été conduite au niveau du marais de Boussedra durant les 7 mois, à partir du mois de décembre jusqu'au mois de juin de l'année 2026. Des sorties de terrain ont été d'une fréquence mensuelles. Cet intervalle de sortie qui a permis d'assurer un suivi régulier de la végétation hélophytique et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. En effet, lors de chaque sortie, nous avons procédé à l'observation des formations végétales, au prélèvement mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau. Les sorties ont également permis d'observer les pressions anthropiques visibles autour du marais, notamment les zones d'habitations, agricoles et industriels, les remblais, les rejets et les secteurs fortement perturbés.

II.3.2. Critères de choix des stations

Compte tenu de l'hétérogénéité spatiale du marais de Boussedra et de la distribution non homogène des formations hélophytiques, nous avons choisi d'organiser l'analyse des données par secteurs. Les mesures physico-chimiques ont été réalisées au cours de deux sorties de terrain effectuées durant le mois de mars et avril de l'année en cours. Lors de ces campagnes, nous avons relevé les paramètres de qualité de l'eau sur plus de 100 points de prélèvement, chaque point étant associé à des coordonnées GPS.

Les points de prélèvement ont été organisés selon leur position spatiale en quatre secteurs principaux : Nord, Sud, Est et Ouest. Au total, nous avons retenu 32 points dans le secteur Nord, 42 points dans le

secteur Sud, 13 points dans le secteur Est et 21 points dans le secteur Ouest. Ce découpage sectoriel a été adopté afin de faciliter l'interprétation des variations physico-chimiques de l'eau et de les mettre en relation avec la répartition des hélophytes observées sur le terrain.

II.3.3. Identification des végétaux

Les plantes hélophytes ont d'abord été identifiées sur terrain à partir de leur caractère émergent dans l'eau ou sur substrat hydromorphe. La détermination des genres et des espèces a été complétée à l'aide de critères morphologiques visibles à l'aide des documents botaniques notamment le guide *Aquatic and Wetland Vascular Plants of the Northern Great Plains* de Larson (1993) et la base taxonomique en ligne *Plants of the World Online* (POWO). L'examen des taxons a été affinée sur la base de caractères morphologiques externes, notamment la structure générale de la plante, les tiges, les feuilles (forme, largeur et disposition).

Les principales espèces retenues dans cette étude sont *Typha domingensis*, *Phragmites australis* et *Arundo donax*. D'autres hélophytes ou espèces associées, telles que *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus*, ont également été notées lorsqu'elles étaient présentes dans les formations de bordure. Pour chaque secteur, nous avons décrit la dominance des espèces, leur continuité spatiale et leur mode de distribution sous forme de ceintures, de patches discontinus ou de peuplements localisés.

2.4. Relevés GPS

Chaque point d'observation et de mesure a fait l'objet d'un repérage spatial à l'aide d'un GPS portable de type. Les coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude) ont été enregistrées. Les points ont été relevés sur le terrain puis reportés dans un fond cartographique pour localiser précisément les stations étudiées et pour construire une représentation spatiale des secteurs étudiés.

La cartographie des hélophytes a constitué une étape essentielle de l'étude, car elle nous a permis de visualiser la répartition des principales formations végétales et de la comparer ensuite avec les cartes de distribution des paramètres indicateurs de pollution. Cette comparaison spatiale a été réalisée à l'échelle des secteurs, mais aussi à proximité des zones où les hélophytes sont plus denses ou plus fragmentés.



Figure 8. GPS portable Garmin GPS 72H utilisé pour le relevé des coordonnées géographiques des points de prélèvement.

2.5. Mesures physico-chimiques in situ

Plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau ont été mesurés directement sur le terrain (Fig. 09), à l'aide d'une valise multiparamètres portable **HANNA Instruments HI9828**, équipée de sondes préalablement calibrées en laboratoire à l'aide des solutions standards fournies par le fabricant. Sur chaque site, les mesures ont été réalisées in situ, à une profondeur d'environ 10 à 20 cm sous la surface de l'eau, en prenant soin d'éviter les zones stagnantes ou trop turbulentes. Lorsque cela n'était pas possible, l'échantillon d'eau était prélevé dans un récipient propre, dans lequel la sonde appropriée était ensuite immergée après étalonnage. Il convenait alors d'attendre la stabilisation de l'affichage des valeurs sur l'écran avant d'enregistrer les résultats.

Cet appareil permet la mesure simultanée de plusieurs paramètres, avec enregistrement automatique des données. Les paramètres mesurés incluent : la température de l'eau (°C), l'oxygène dissous (OD, en mg/L), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE, en $\mu\text{S}/\text{cm}$), la turbidité (FNU), la salinité (PSU) et la concentration totale en solides dissous (TDS) (HANNA Instruments, 2018).



Figure 9. Valise multiparamètres portable HANNA Instruments HI9828 utilisée pour les mesures physico-chimiques in situ.

2.6. Paramètres physico chimique et organique

2.6.1. La température de l'eau

La température de l'eau est un facteur fondamental régulant de nombreux processus physico-chimiques et biologiques au sein des milieux aquatiques. Elle influence la solubilité des gaz, la vitesse des réactions chimiques, la densité de l'eau, et la physiologie des organismes aquatiques (Wetzel, 2001 ; APHA, 2017). Une température élevée peut réduire la solubilité de l'oxygène et accélérer la décomposition de la matière organique. La température a été exprimée en degrés Celsius (°C), après immersion de la sonde pendant 10 minutes jusqu'à stabilisation de la lecture (Rodier, 1996).

2.6.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH, qui reflète la concentration en ions H^+ , permet d'évaluer l'acidité ou la basicité de l'eau sur une échelle de 0 à 14. Il influence de nombreux équilibres physico-chimiques, notamment la solubilité des nutriments et des métaux, ainsi que leur biodisponibilité (Castany & Margat, 1977 ; Detay, 1993) ainsi que le comportement de certains polluants dans l'eau. Ce paramètre est crucial pour les processus biologiques aquatiques, qui nécessitent des valeurs stables comprises généralement entre 6,5 et 8,5. Des écarts peuvent perturber le métabolisme et les fonctions enzymatiques des organismes (Zeddouri, 2003 ; Chapman, 1996 ; Meybeck et al., 1996). Dans les zones à hélrophytes, les variations de pH peuvent affecter le fonctionnement du système épurateur naturel assuré par la végétation palustre en agissant sur la nitrification, la dénitrification et la dégradation anaérobie de la matière organique (Saeed & Sun, 2012).

2.6.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, en fonction de sa teneur en ions dissous comme le sodium, les chlorures, les nitrates ou le calcium (Rodier, 1996 ; Saadali, 2007). Elle constitue un bon indicateur du degré de minéralisation et peut refléter une contamination d'origine domestique, agricole ou industrielle. Ce paramètre est influencé par la température, augmentant généralement de 2 à 3 % par degré Celsius (Detay, 1993) ; les appareils de mesure modernes intègrent souvent une correction automatique à 25 °C. L'unité utilisée est le microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La mesure est réalisée sur le terrain à l'aide d'un conductimètre ou d'un appareil multiparamètres, en immergeant la sonde à faible profondeur après une légère agitation de l'eau pour homogénéisation. Il est recommandé de rincer les sondes à l'eau déminéralisée après chaque utilisation (Agrigon, 2000).

Selon l'Association américaine de santé publique (l'APHA, 2017), les eaux peuvent être classées en différentes catégories basées sur leur conductivité :

- Eaux douces : inférieure à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces eaux ont une faible concentration en sels dissous.
- Eaux modérément salines : entre 500 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette gamme peut inclure des rivières et des lacs influencés par des apports agricoles ou urbains.
- Eaux salines : Conductivité de 3000 à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces eaux peuvent se trouver dans des zones côtières ou des environnements avec une forte évaporation.
- Eaux très salines : Conductivité supérieure à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cela inclut des environnements comme les lagunes salées ou certains lacs hyper salins.

2.6.4. La salinité

La salinité constitue un facteur écologique majeur des biotopes aquatiques (et des sols), correspondant à la teneur en sels dissous, principalement le chlorure de sodium (NaCl), mais aussi d'autres sels tels que les sulfates, bicarbonates ou chlorures de calcium et magnésium. Elle influence profondément la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Toute modification brutale ou anthropique de la salinité peut entraîner des perturbations notables, notamment sur la distribution des espèces, la productivité biologique ou les équilibres physico-chimiques (Ramade, 2011).

Sa mesure s'effectue directement sur le terrain à l'aide d'un appareil multiparamètres, et la valeur est exprimée en PSU (Practical Salinity Unit). Selon Kloppmann et al. (2011), la salinité peut être classée en trois niveaux écologiquement significatifs : une salinité faible (0 à 1 PSU), typique des eaux douces ; une salinité modérée (1 à 10 PSU), caractéristique des zones de transition comme les estuaires ; et une

salinité élevée (10 à 35 PSU), représentative des milieux marins ou côtiers. Cette classification permet d'évaluer l'état des masses d'eau et de mieux comprendre les dynamiques de peuplement et les contraintes environnementales liées à la salinité.

2.6.5. L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous est un paramètre clé pour évaluer la qualité d'un écosystème aquatique, car il conditionne la survie des organismes aérobies et le bon fonctionnement des processus biologiques. Sa concentration dépend de la température, de la salinité, de l'agitation de l'eau (turbulence), de l'activité photosynthétique et de la présence de polluants organiques (Rodier, 1994 ; Allan & Castillo, 2007). Une baisse de l'oxygène dissous peut entraîner la fermentation de la matière organique, la libération d'odeurs et une altération du fonctionnement de l'écosystème (Thierrin et al., 2001).

La mesure s'effectue directement sur le terrain à l'aide d'une sonde optique ou galvanique intégrée à un appareil multiparamètres. Selon les seuils établis par Beaupoil et Bornens (1997), une concentration supérieure à 5 mg/L indique une bonne qualité de l'eau, tandis que des valeurs inférieures à 3 mg/L révèlent des conditions hypoxiques critiques pour de nombreuses espèces.

2.6.6. La turbidité

La turbidité indique la concentration de particules en suspension dans l'eau (argile, limon, matière organique, phytoplancton...). Elle est généralement mesurée en unités néphélométriques de Formazine (FNU ou NTU), selon la norme ISO 7027. Une turbidité élevée limite la pénétration de la lumière, réduisant ainsi la photosynthèse et facilitant le transport de polluants fixés sur les particules (Davies-Colley & Smith, 2001).

La mesure s'effectue in situ à l'aide d'un turbidimètre ou d'un appareil multiparamètres. Selon Ghazali et Ziad (2013), une eau claire affiche une turbidité inférieure à 5 FNU, tandis qu'au-delà de 50 FNU, l'eau est considérée comme turbide à très turbide (>100 FNU), ce qui peut altérer la qualité écologique du milieu.

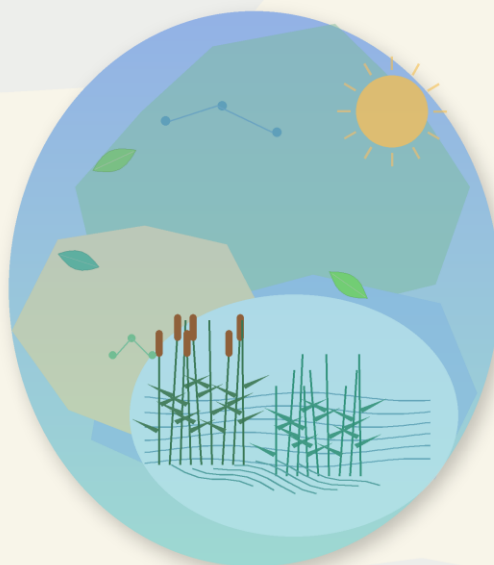
2.6.7. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension désignent la fraction particulaire non dissoute présente dans l'eau, constituée de particules minérales, organiques ou biologiques transportées dans la colonne d'eau. Elles représentent un paramètre classique de caractérisation de la qualité des eaux, en raison de leur influence sur la turbidité, la transparence et le transport de certains éléments associés à la phase particulaire. Leur concentration peut varier en fonction des apports externes, de l'érosion, du ruissellement et des conditions hydrodynamiques du milieu (Bilotta & Brazier, 2008 ; Davies-Colley & Smith, 2001).

Les MES ont été déterminées au laboratoire par une méthode gravimétrique fondée sur la filtration d'un volume connu d'eau, le séchage du résidu retenu sur filtre, puis sa pesée, les résultats étant exprimés en mg/L. Cette approche correspond aux méthodes normalisées de détermination des matières en suspension dans les eaux brutes, usées et effluents.



RÉSULTATS



III. Résultats

La présente étude a été réalisée durant l'année 2025/2026. Les données collectées lors des sorties de terrain au marais de Boussedra ont permis de mettre en évidence une organisation de la végétation hélophytique dominée par les formations de bordure à grands hélophytes, ainsi que par des formations plus localisées à grandes cannes.

Les résultats présentés ci-dessous décrivent, d'une part, les principales formations hélophytiques observées sur le terrain et, d'autre part, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau selon les quatre secteurs retenus du marais : Nord, Sud, Est et Ouest. La dernière partie présente une lecture spatiale comparative entre la distribution des hélophytes, la bathymétrie et les principaux indicateurs de qualité de l'eau.

III.1. Identification des plantes hélophytes

L'inventaire sur terrain met en évidence un cortège de plantes hélophytiques dominé par les typhaies à *Typha domingensis*, auxquelles s'ajoutent des formations à grandes cannes dominées par *Arundo donax*. *Phragmites australis* est également bien représentée, mais de façon discontinue. D'autres taxons, notamment *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus*, sont présents dans les formations de bordure mais moins abondants.

III.1.1. Formation à *Typha domingensis*

Typha domingensis constitue l'espèce la plus dominante au sein des formations hélophytiques du marais de Boussedra. Elle forme des peuplements denses, souvent organisés en ceintures continues ou discontinues en bordure du plan d'eau, ainsi que dans certaines zones internes en contact avec les eaux libres. Les tiges, robustes, dépassent fréquemment 1 mètre et peuvent atteindre jusqu'à 3 mètres de hauteur.

III.1.2. Formation à *Arundo donax*

Arundo donax occupe la seconde place en importance observée. Cette espèce forme des peuplements à grandes cannes plus ou moins denses, avec des tiges pouvant atteindre 5 à 6 mètres de hauteur. Toutefois, contrairement à *Typha domingensis*, son habitat est limité et fragmenté. Sur le terrain, elle a surtout été observée dans les secteurs les plus proches des zones anthropisées, notamment au Sud et localement à l'Ouest du marais.

III.1.3. Formations à *Phragmites australis*

Phragmites australis est présente par endroits sous forme de patchs discontinus au sein des formations hélophytiques de bordure. Elle participe à la physionomie générale des roselières du marais. Mais son abondance reste inférieure à celle de *T. domingensis*.

III.1.4. Autres hélophytes présentes : *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus*

Schoenoplectus lacustris et d'*Iris pseudacorus* sont observés dans certaines formations de bordure. Ces espèces accompagnent les typhaies. Elles sont toutefois, moins abondantes que les formations dominantes précédemment citées. *Schoenoplectus lacustris* apparaît dans les formations mixtes, tandis qu'*Iris pseudacorus* se développe en arrière de certaines ceintures de *Typha*.

III.2. Répartition spatiale des hélophytes dans le marais de Bussedra

III.2.1. Répartition des formations dominantes

La répartition des hélophytes dans le marais de Bussedra n'est pas homogène. Les grands hélophytes enracinés se développent surtout en périphérie du plan d'eau et dans certaines zones internes en contact avec les eaux libres. Les *typhaies*, constituent la formation la plus étendue et la plus continue du site. Elles se présentent sous forme de ceintures végétales continues ou discontinues, généralement larges de 3 à 10 mètres, formant une lisière entre les eaux libres et les habitats terrestres avoisinants.

Les formations à *Arundo donax* présentent une répartition plus restreinte. Elles sont principalement localisées dans le secteur Sud du marais, au niveau de certaines rives proches des zones d'habitations précaires ou de perturbation, sous forme de linéaires discontinus de quelques dizaines de mètres. Des petits îlots alignés de canne de Provence sont également observés à l'intérieur du marais. Elles sont également observées localement dans le secteur Ouest, mais de manière moins dominante que dans le secteur Sud.



Figure 10. Ceinture à *Typha domingensis* et *Arundo donax* occupant les bordures du marais (SAADI)

III.2.2. Répartition des espèces associées

Phragmites australis, *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus* accompagnent localement les typhaies. Leur présence est remarquée dans les formations de bordure, mais restent moins abondantes à l'échelle du marais.

Phragmites australis apparaît sous forme de patchs discontinus ; *Schoenoplectus lacustris* participe aux formations mixtes ; et *Iris pseudacorus* se développe en arrière de certaines ceintures de Typha. Ces espèces sont donc bien présentes, mais leur abondance est inférieure à celle des taxons dominants.



Figure 11. Formations à *Schoenoplectus lacustris*.

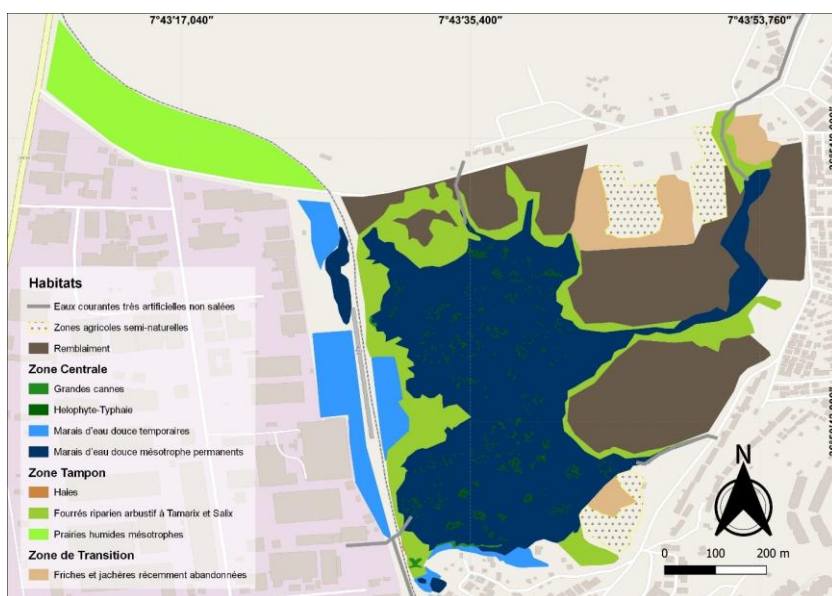


Figure 12. Carte des principaux habitats naturels du marais de Boussedra, montrant la position des typhaies et des formations à grandes cannes par rapport au plan d'eau et aux zones anthropisées.

III.3. Caractérisation physico-chimique du milieu par secteur

Les stations GPS exploitables ont été classées en quatre secteurs : Nord, Sud, Est et Ouest. Au total, 32 points de prélèvement ont été retenus dans le secteur Nord, 42 dans le secteur Sud, 13 dans le secteur

Est et 21 dans le secteur Ouest. Les valeurs moyennes des principaux paramètres physico-chimiques sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques par secteur.

Secteur	pH	Conductivité (µS/cm)	TDS (mg/L)	Oxygène dissous (mg/L)	Turbidité (NTU)	Nitrates (mg/L)	ORP/Redox (mV)	Température (°C)	Salinité (PSU)
Nord	8,75	1831,40	1189,97	11,69	468,00	8,01	53,88	12,46	0,90
Sud	9,33	1834,08	1191,65	14,22	557,81	15,91	25,49	12,97	0,90
Est	8,45	1784,38	1159,31	12,32	444,38	9,31	52,40	15,00	0,88
Ouest	9,03	1827,22	1187,11	10,78	718,01	11,76	8,80	12,15	0,90

III.3.1. Température de l'eau

La température moyenne varie faiblement entre les secteurs. Les valeurs de température de l'eau sont respectivement de 12,46 °C, 12,97 °C et 12,5 °C pour les parties Nord, Sud et Ouest du site, la valeur la plus élevée a été enregistrée dans la partie Est avec une moyenne de 15,00 °C.

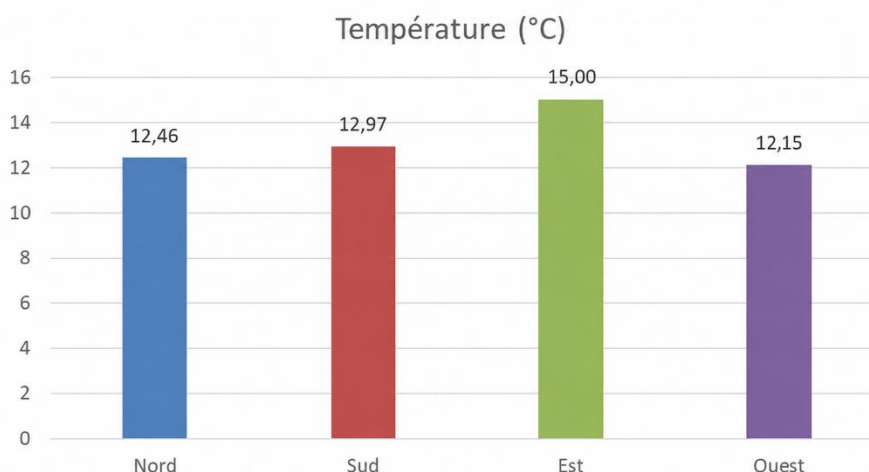


Figure 13. La variation de la température moyenne entre les sites d'étude.

III.3.2. pH (Potentiel hydrogène)

Les valeurs moyennes du pH enregistrées au niveau des différents secteurs de la zone humide de Boussedra présentent des différences notables. La valeur moyenne la plus faible est observée dans le secteur Est, avec une valeur de 8,45, suivie du secteur Nord avec une moyenne de 8,74. Ces valeurs augmentent ensuite pour atteindre 9,03 dans le secteur Ouest, tandis que la valeur moyenne la plus élevée du pH est enregistrée dans le secteur Sud, avec une moyenne de 9,33. (Fig. 13).

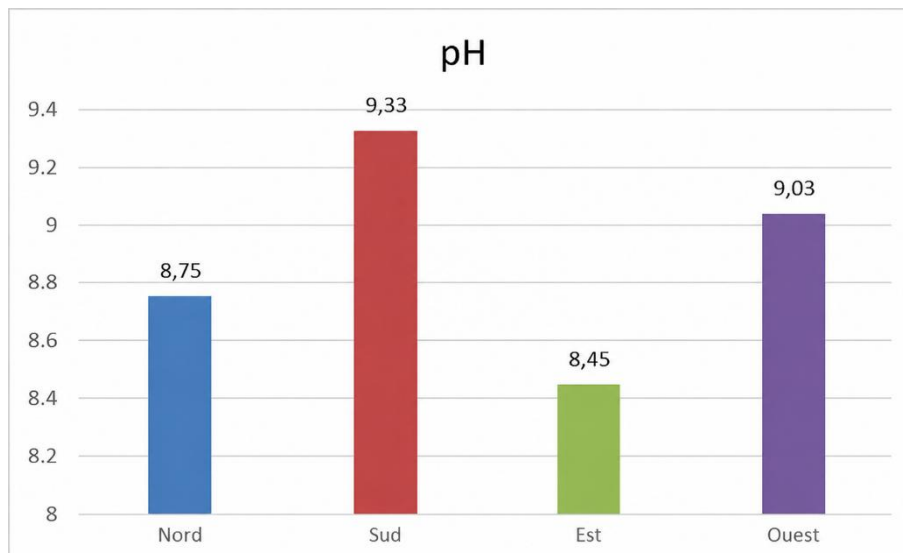


Figure 14. La variation du pH moyen entre les sites d'étude.

III.3.3. Conductivité électrique

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique montrent une forte similarité entre la majorité des secteurs de la zone humide de Boussedra, avec une légère diminution observée dans un seul secteur. Le secteur Sud enregistre la valeur la plus élevée avec une moyenne de 1834,07 $\mu\text{S}/\text{cm}$, suivi de près par le secteur Ouest avec une moyenne de 1827,22 $\mu\text{S}/\text{cm}$, puis le secteur Nord où la conductivité atteint 1831,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En revanche, la valeur moyenne la plus faible est observée dans le secteur Est, où elle s'élève à 1784,38 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Fig. 14).

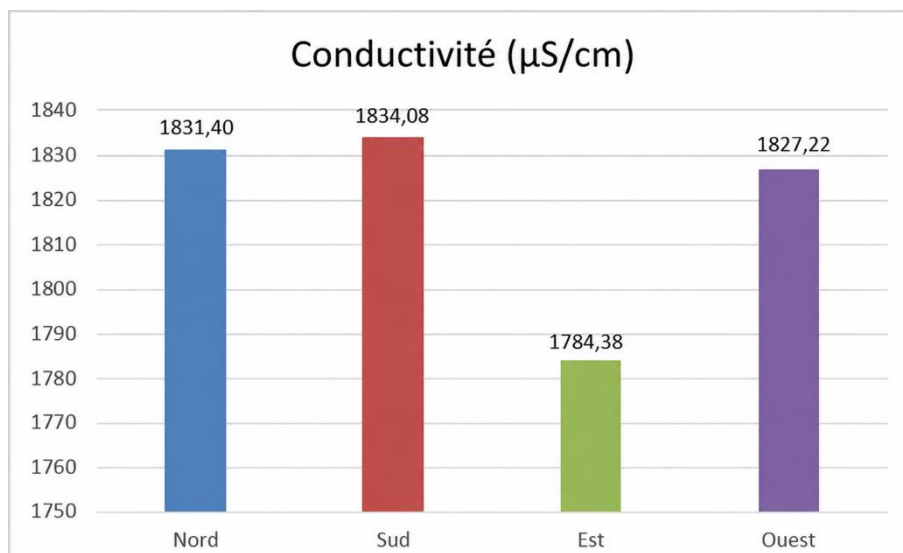


Figure 15. La conductivité électrique moyenne pour chacun des quatre sites d'étude.

III.3.4. Solide dissous (TDS)

Les résultats de l'analyse des solides dissous totaux (TDS) montrent une stabilité et une similarité entre la majorité des secteurs, avec une diminution relative observée dans le secteur Est. La valeur moyenne la plus élevée est enregistrée dans le secteur Sud (1191,65 mg/L), suivie directement par le secteur Nord avec une moyenne de 1189,97 mg/L, puis par le secteur Ouest avec une valeur de 1187,11 mg/L. En revanche, le secteur Est présente la valeur la plus faible (1159,31 mg/L) par rapport aux autres secteurs, ce qui indique une diminution relative de la concentration en matières dissoutes. (Fig. 15).

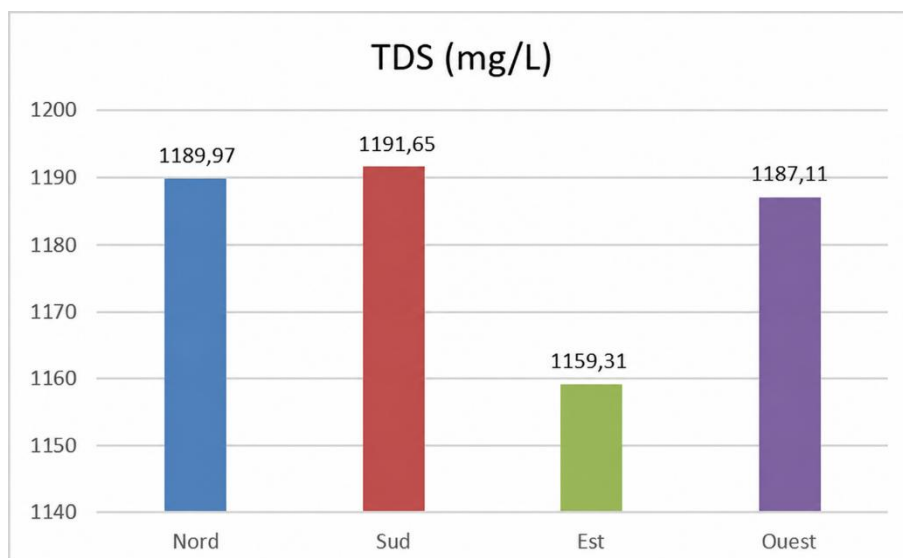


Figure 16. Les valeurs des solides dissous totaux moyennes enregistrées dans les quatre secteurs.

III.3.5. Oxygène dissous

Les concentrations moyennes en oxygène dissous enregistrées dans les différents secteurs du marais de Boussedra montrent des niveaux globalement élevés, avec des variations entre les stations. La valeur moyenne la plus élevée est observée dans le secteur Sud (14,22 mg/L), suivie du secteur Est avec une moyenne de 12,32 mg/L. Les valeurs restent relativement proches dans les autres secteurs, avec 11,69 mg/L dans le secteur Nord, tandis que la valeur moyenne la plus faible est enregistrée dans le secteur Ouest (10,78 mg/L) (Fig. 16).

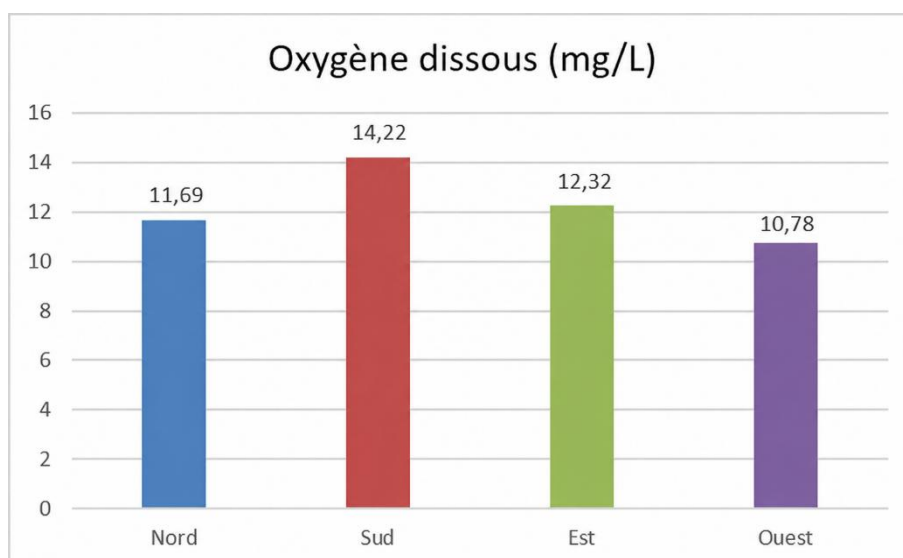


Figure 17. La concentration moyenne en oxygène dissous pour chaque site étudié.

III.3.6. Turbidité

Les valeurs de turbidité enregistrées montrent une variation entre les différents secteurs du marais de Boussedra. La valeur moyenne la plus élevée est observée dans le secteur Ouest, avec 718,02 NTU, suivi du secteur Sud où elle atteint 557,81 NTU. En revanche, ces valeurs diminuent relativement dans les autres secteurs, avec 468 NTU dans le secteur Nord, tandis que la valeur moyenne la plus faible est enregistrée dans le secteur Est, avec 444,38 NTU (Fig. 17).

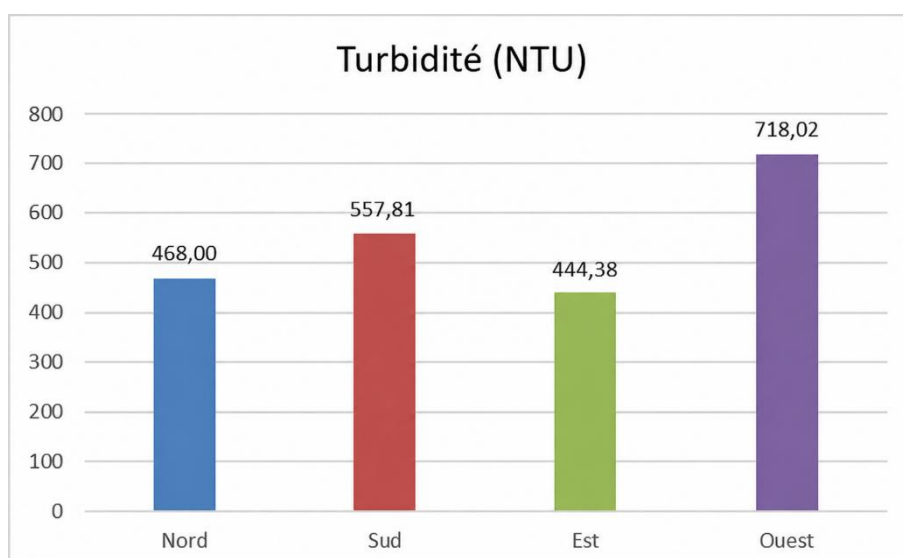


Figure 18. La turbidité moyenne enregistrée dans les quatre sites étudiés.

III.3.7. Salinité (PSU)

Les valeurs de salinité enregistrées montrent une forte stabilité et une grande similarité entre la majorité des secteurs du marais de Boussedra, avec une légère diminution observée dans un seul secteur. La valeur moyenne la plus élevée est enregistrée dans le secteur Sud avec 0,90225 PSU, suivie de près par le secteur Nord avec une moyenne quasiment identique de 0,902 PSU, puis par le secteur Ouest avec une valeur de 0,90056 PSU. En revanche, la valeur moyenne la plus faible est observée dans le secteur Est, où elle diminue pour atteindre 0,87846 PSU. Ces valeurs proches traduisent un degré de minéralisation similaire des eaux du marais dans la plupart de ses secteurs (Fig. 18).

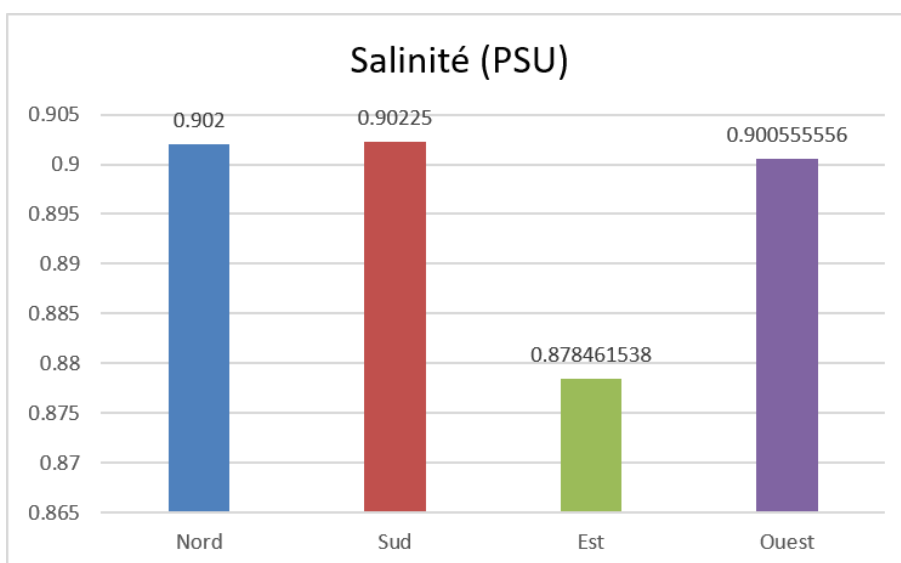


Figure 19. La salinité (en PSU) pour les quatre sites étudiés.

III.3.8. Nitrates

Les concentrations en nitrates présentent une variation entre les différents secteurs. La valeur moyenne la plus élevée est enregistrée dans le secteur Sud avec 15,91 mg/L, suivie du secteur Ouest avec une moyenne de 11,76 mg/L. En revanche, ces concentrations diminuent dans les autres secteurs, où elles atteignent 9,31 mg/L dans le secteur Est, tandis que la valeur moyenne la plus faible est observée dans le secteur Nord avec 8,01 mg/L (Fig. 19).

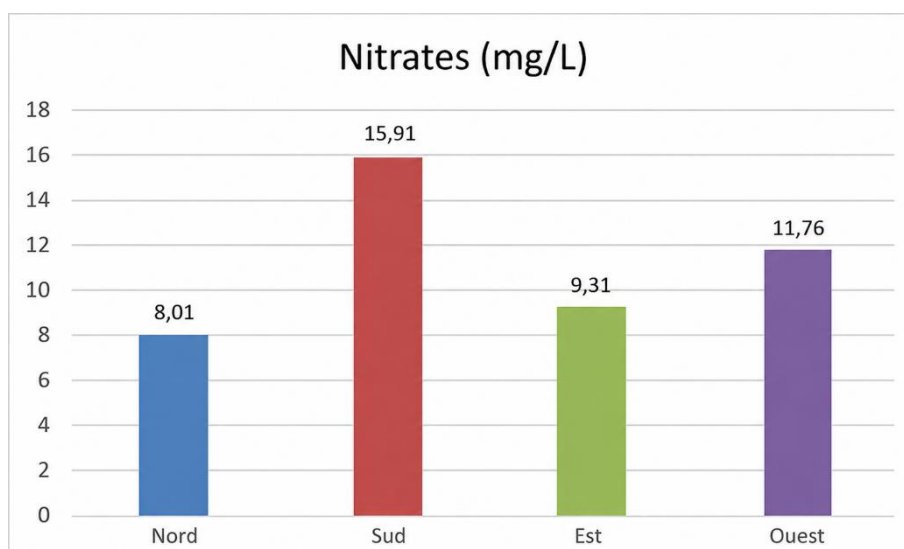


Figure 20. Les concentrations moyennes en nitrates pour les quatre sites d'étude.

III.3.9. ammonium (NH_4^+)

Les concentrations moyennes en ammonium (NH_4^+) enregistrées dans les différents secteurs du marais de Boussedra restent très faibles. Les valeurs obtenues sont de 0,000313 mg/L dans le secteur Nord, 0,000000 mg/L dans le secteur Sud, 0,011538 mg/L dans le secteur Est et 0,000476 mg/L dans le secteur Ouest. La valeur la plus élevée est observée dans le secteur Est, mais elle demeure faible par rapport aux seuils généralement associés à une pollution ammoniacale importante.

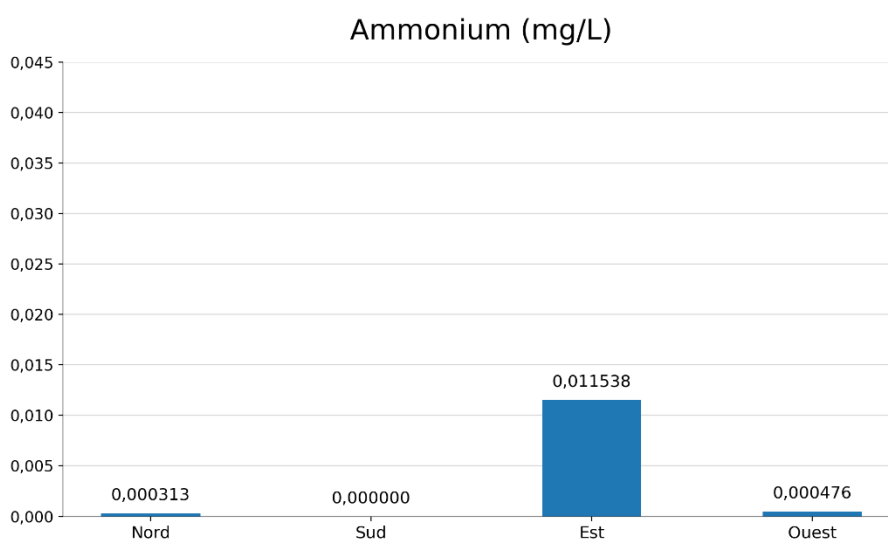


Figure 21. Les concentrations moyennes en nitrates pour les quatre sites d'étude.

III.4. Comparaison spatiale entre les formations hélrophytiques et les indicateurs de pollution

La répartition des formations hélrophytiques dans le marais de Boussedra montre une organisation spatiale non homogène. D'après la carte des habitats (Fig. 11), les hélrophytes sont présentes dans l'ensemble du marais, mais leur densité et leur continuité changent d'un secteur à l'autre. Les formations les plus dominantes sont les typhaies à *Typha domingensis*, qui occupent surtout les bordures du plan d'eau ainsi que certaines zones internes en contact avec les eaux libres. Les formations à *Arundo donax* sont plus localisées et se trouvent principalement dans les secteurs périphériques et dans les zones soumises aux pressions anthropiques. D'autres hélrophytes, comme *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus*, ont également été observées, mais elles apparaissent de manière plus dispersée et souvent associées aux typhaies.

À l'échelle des secteurs, les hélrophytes sont présentes dans tout le site, mais elles ne se développent pas partout avec la même importance. Dans le secteur Nord, elles sont observées surtout en bordure du plan d'eau. Cependant, elles semblent moins denses et plus discontinues que dans les autres parties du marais. Le secteur Sud présente une couverture hélrophytique plus importante, notamment au niveau des bordures et des zones de transition entre l'eau libre et les habitats périphériques. Ce secteur se distingue également par une présence plus marquée des grandes cannes. Dans le secteur Est, les hélrophytes sont présentes mais leur répartition reste plus fragmentée. Le secteur Ouest montre aussi une présence notable des hélrophytes, plus visible que dans les secteurs Nord et Est, avec des formations installées principalement en bordure du plan d'eau et dans les zones de contact avec les habitats **artificialisés**.

III.4.1. Lecture de la carte bathymétrique

À l'échelle sectorielle, la carte bathymétrique montre une variation de la profondeur dans le marais de Boussedra, avec des zones peu profondes en bordure et des zones plus profondes dans certaines parties du marais.

Dans le secteur Nord, les courbes bathymétriques indiquent des profondeurs faibles à moyennes, principalement visibles vers la bordure du plan d'eau. Dans le secteur Sud, les courbes bathymétriques sont plus nombreuses et montrent plusieurs niveaux de profondeur, notamment vers la partie sud et sud-ouest du marais. Dans le secteur Est, les courbes bathymétriques sont moins nombreuses et plus espacées. Cette partie du marais présente donc une répartition plus simple des profondeurs. Dans le secteur Ouest, les courbes indiquent également plusieurs niveaux de profondeur, avec des variations visibles au niveau des bordures et de certaines zones internes du marais.

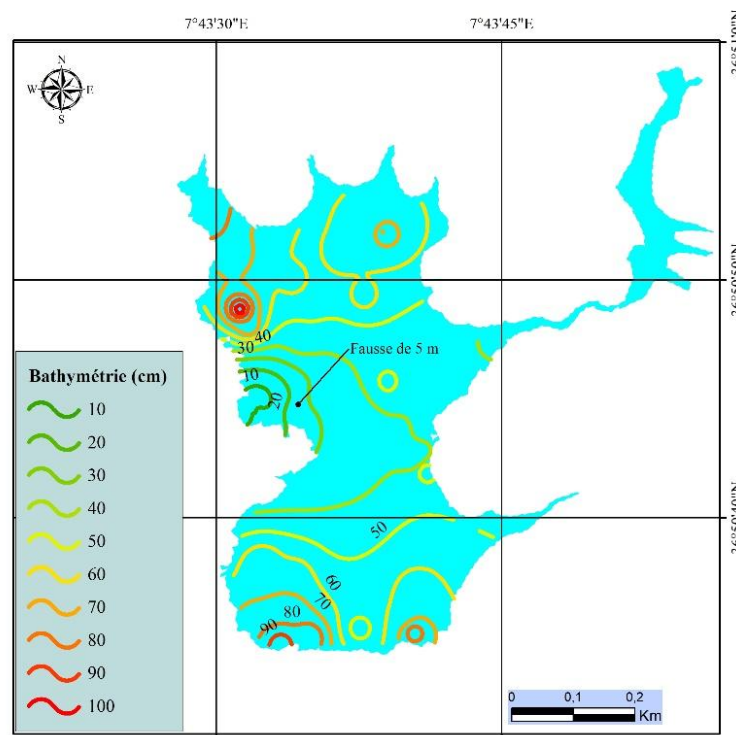


Figure 22. Carte bathymétrique du marais de Boussedra.

III.4.2. Analyse des cartes de distribution des paramètres physico-chimiques

La lecture des cartes des paramètres physico-chimiques met en évidence les différences spatiales entre les secteurs du marais de Boussedra. Dans le secteur Nord, les cartes montrent des valeurs de nitrates globalement plus faibles que dans les secteurs Sud et Ouest. La turbidité y est présente, mais elle reste inférieure aux valeurs observées dans le secteur Ouest. Le pH est alcalin, comme dans l'ensemble du site, et les valeurs d'oxygène dissous restent intermédiaires par rapport aux autres secteurs. Les valeurs ORP/Redox sont relativement élevées dans ce secteur.

Dans le secteur Sud, les cartes montrent des valeurs plus marquées pour plusieurs paramètres. Les nitrates y présentent la moyenne la plus élevée, et la turbidité y est également importante. Le pH est aussi le plus élevé dans ce secteur. L'oxygène dissous présente la moyenne la plus importante parmi les quatre secteurs. Ces résultats montrent que le secteur Sud se distingue nettement par rapport aux autres secteurs pour plusieurs paramètres mesurés.

Dans le secteur Est, les paramètres apparaissent globalement moins élevés pour la conductivité, les TDS, la salinité et la turbidité. Les nitrates restent présents, mais sans atteindre les valeurs observées dans le secteur Sud. La température moyenne est en revanche la plus élevée dans ce secteur. L'ammonium présente aussi sa valeur moyenne la plus élevée dans le secteur Est, même si les concentrations restent très faibles à l'échelle du marais.

Dans le secteur Ouest, les cartes montrent une turbidité plus élevée que dans les autres secteurs. Les nitrates y sont également relativement élevés, avec une moyenne inférieure à celle du secteur Sud mais supérieure à celles des secteurs Nord et Est. L'oxygène dissous y présente la valeur moyenne la plus faible. Le potentiel ORP/Redox est également plus faible dans ce secteur.

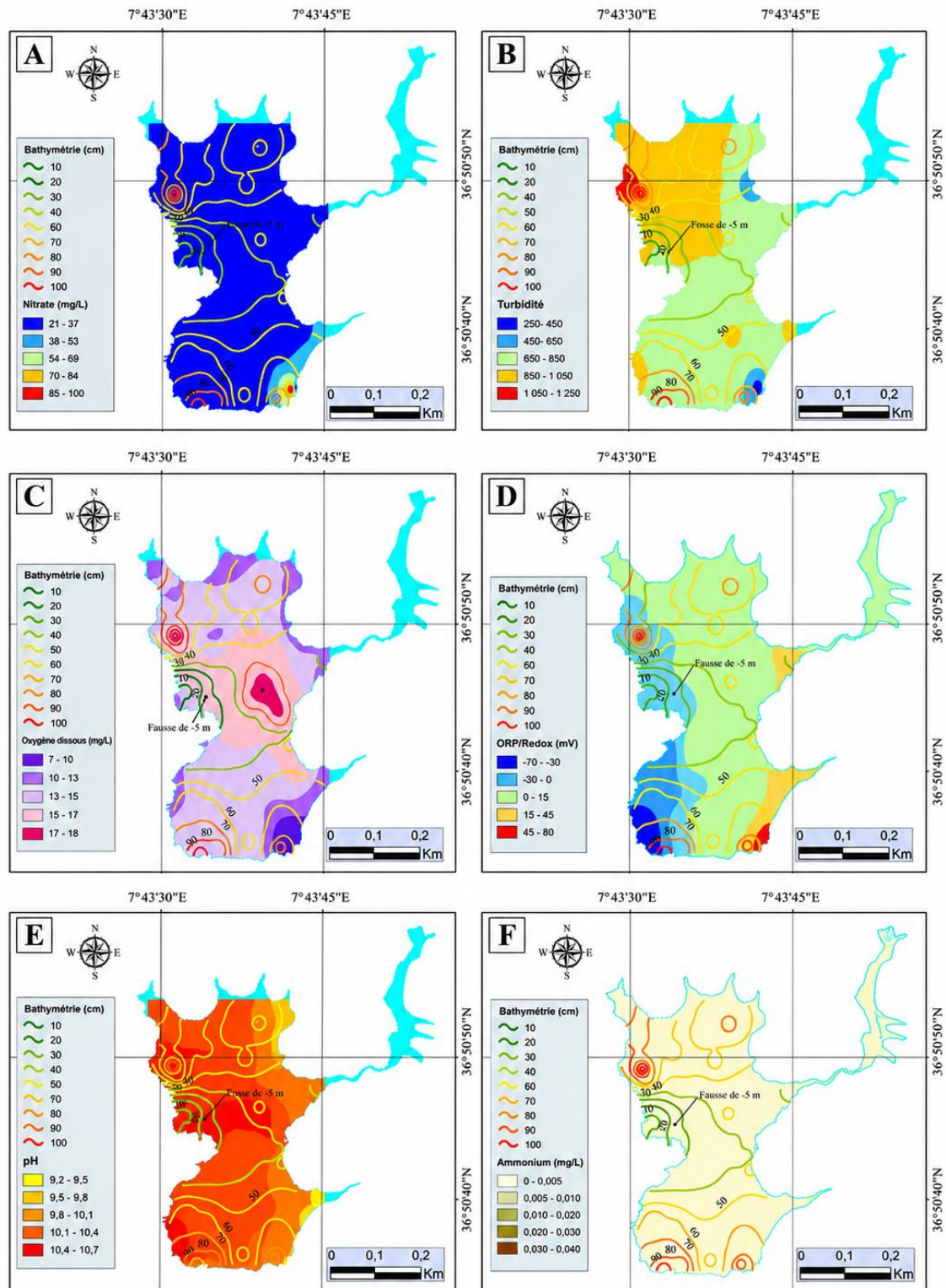


Figure 23. Distribution spatiale des principaux indicateurs de pollution et de fonctionnement du marais de Boussedra. A : nitrates ; B : turbidité ; C : oxygène dissous ; D : ORP/Redox ; E : pH ; F : ammonium (Becheker A)

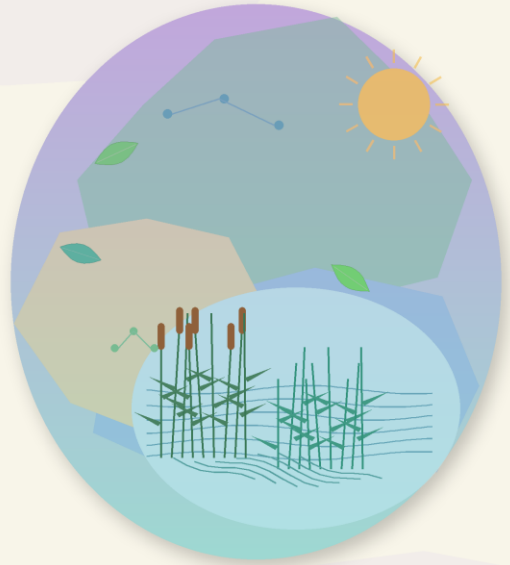
III.4.3. Synthèse des résultats cartographiques

Dans l'ensemble, la comparaison entre la carte bathymétrique, la carte des habitats et les cartes physico-chimiques montre que le marais de Boussedra n'est pas homogène. La profondeur de l'eau change d'une zone à l'autre. Les bordures sont généralement moins profondes, alors que certaines parties internes du marais présentent des profondeurs plus importantes.

Les secteurs Sud et Ouest se distinguent par une présence plus importante des formations hélophytiques. Ces mêmes secteurs montrent aussi des valeurs plus élevées pour certains paramètres, surtout les nitrates et la turbidité. À l'inverse, les secteurs Nord et Est présentent des valeurs généralement moins marquées, avec des formations végétales plus fragmentées.



DISCUSSION



IV. Discussion

IV.1. Pressions anthropiques et maintien du fonctionnement écologique du marais

Malgré les pressions anthropiques qu'il subit, le marais de Boussedra reste un écosystème humide important. Ce site conserve un plan d'eau permanent, des habitats palustres variés et une biodiversité remarquable, même si les remblais, les rejets, les activités agricoles et industrielles et les perturbations des berges fragilisent son équilibre naturel. Cette situation montre que le marais possède encore une certaine capacité de résistance et de fonctionnement écologique.

La configuration physique du marais décrit Boussedra comme une cuvette topographique, entourée par des reliefs au nord, au sud et à l'est. Cette position basse lui donne un rôle d'exutoire naturel pour les eaux de ruissellement et les apports gravitaires locaux. Les pentes sont plus visibles vers le Nord-Est et le Sud-Est, alors que le fond du marais est plus plat. Cette faible pente favorise la stagnation de l'eau et sa rétention dans le site (CRE, 2025).

Les milieux aquatiques peu profonds fonctionnent grâce à des échanges constants entre l'eau, les sédiments, la lumière et les organismes vivants (Wetzel, 2001). Dans le cas de Boussedra, le maintien du marais peut donc être relié à plusieurs facteurs naturels, notamment le fonctionnement hydrologique, la faible profondeur de certaines zones, la sédimentation, l'activité microbienne et la végétation aquatique. De plus, dans les zones humides, l'eau qui circule lentement reste plus longtemps en contact avec le sol, les racines et les sédiments (Kadlec et Wallace, 2009), ce qui favorise des processus comme le dépôt des particules en suspension, la rétention d'une partie des nutriments et les transformations microbiennes de l'azote (Reddy et DeLaune, 2008).

Les hélophytes occupent une place particulière dans ce fonctionnement. En effet, les macrophytes émergents peuvent modifier les conditions physiques et biologiques du milieu par leurs tiges, leurs racines et leurs rhizomes (Brix, 1997). Stottmeister et al. (2003) montrent aussi que la rhizosphère des plantes émergentes offre un support aux microorganismes qui participent à la dégradation de la matière organique et aux transformations de l'azote. Dans ce sens, la végétation hélophytique ne constitue pas seulement un habitat pour la biodiversité, elle peut aussi participer au maintien de la qualité de l'eau. En effet, d'après Milke et al. (2020), *Phragmites australis* est l'une des espèces les plus étudiées en phytoremédiation des eaux contaminées, en raison de son système racinaire et rhizomatique développé, de sa tolérance à des conditions variables et de sa capacité à soutenir l'activité microbienne de la rhizosphère. Ces plantes, comme les typhas et les roseaux se développent souvent dans les eaux lentes ou stagnantes, sur des substrats vaseux et dans des milieux enrichis en matière organique (Keddy, 2010).

Ces plantes sont aussi considérées comme des indicatrices écologiques, car les macrophytes peuvent refléter l'état trophique des eaux (Melzer, 1999), et leur composition varie selon la profondeur, le substrat, la transparence de l'eau, les nutriments et les perturbations tandis que (Lacoul et Freedman, 2006).

Dans ce contexte, l'étude du pouvoir épurateur potentiel des hélophytes du marais de Boussedra présente un intérêt écologique important. Elle permet de mieux comprendre comment ces formations végétales s'organisent dans le marais, comment elles indiquent certaines conditions du milieu et comment elles peuvent être mises en relation avec les paramètres physico-chimiques de l'eau. Ce travail cherche donc à discuter le rôle possible des hélophytes dans le fonctionnement global de cette zone humide soumise à de fortes pressions.

IV.2. Évaluation générale de l'état physico-chimique du marais de Boussedra

Les mesures physico-chimiques réalisées dans le marais de Boussedra donnent une image générale d'un milieu humide peu profond, alcalin, relativement minéralisé et soumis à des apports extérieurs. Dans cette étude, les paramètres mesurés sont la température, le pH, la conductivité électrique, les TDS, la salinité, l'oxygène dissous, la turbidité, les nitrates, l'ammonium et le potentiel ORP/Redox. Ces paramètres permettent de caractériser l'état de l'eau et de discuter le fonctionnement général du marais.

Les températures moyennes restent modérées, avec des valeurs comprises entre 12,15 °C et 15,00 °C. La température influence directement plusieurs processus biologiques dans les milieux aquatiques, notamment l'activité microbienne, la photosynthèse et les transformations de l'azote (Wetzel, 2001). Dans les milieux peu profonds, elle peut varier plus rapidement que dans les grands plans d'eau, car la faible profondeur favorise les échanges avec l'air et le rayonnement solaire (Wetzel, 2001).

La conductivité électrique, les TDS et la salinité montrent que l'eau du marais est relativement minéralisée. Les valeurs de conductivité sont comprises entre 1784,38 et 1834,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tandis que les TDS varient entre 1159,31 et 1191,65 mg/L. La salinité reste faible, avec des valeurs proches de 0,90 PSU. Boyd (2015) rappelle que la conductivité et les solides dissous reflètent en grande partie la minéralisation de l'eau, les ions dissous et les apports du bassin versant. Dans le cas de Boussedra, la faible variation de ces paramètres à l'échelle du marais peut être reliée au caractère peu profond et semi-fermé du site, aux échanges avec les sédiments, à l'évaporation et aux apports extérieurs.

Le pH est alcalin dans tout le marais, avec des valeurs moyennes supérieures à 8. Dans les plans d'eau peu profonds, la photosynthèse consomme le CO_2 dissous et peut entraîner une augmentation du pH (Wetzel, 2001). En plus, la respiration des organismes et la décomposition de la matière organique libèrent du CO_2 et peuvent provoquer des variations inverses (Boyd, 2015). Cette alcalinité peut donc

être liée à la faible profondeur du milieu, à l'activité photosynthétique, aux échanges avec les sédiments et à la minéralisation naturelle de l'eau.

L'oxygène dissous présente des valeurs globalement élevées, avec des moyennes comprises entre 10,78 et 14,22 mg/L. Ces valeurs montrent que l'eau n'était pas en carence marquée d'oxygène au moment des prélèvements. L'oxygène disponible peut favoriser les processus aérobies, notamment la nitrification (Saeed et Sun, 2012).

Les valeurs du potentiel ORP/Redox mesurées varient entre 8,80 et 53,88 mV. Ce potentiel contrôle plusieurs transformations chimiques et biologiques dans les zones humides, notamment celles de l'azote, du phosphore et de la matière organique (Reddy et DeLaune, 2008).

Les nitrates sont présents dans l'ensemble du marais, avec des valeurs moyennes allant de 8,01 à 15,91 mg/L. A rappeler que nitrates représente une forme oxydée de l'azote et peuvent provenir des apports du bassin versant, du ruissellement ou des activités humaines (Wetzel, 2001), comme ils peuvent résulter de la nitrification, c'est-à-dire de la transformation de l'ammonium en nitrites puis en nitrates lorsque le milieu est suffisamment oxygéné.

L'ammonium reste très faible dans les résultats de cette étude. La valeur la plus élevée atteint 0,011538 mg/L, alors que les autres valeurs moyennes sont proches de zéro. Cette faible présence ne signifie pas forcément une absence totale d'apports azotés. L'ammonium peut s'accumuler dans des conditions réductrices, mais qu'il peut aussi être transformé en formes plus oxydées lorsque l'oxygène est disponible (Reddy et DeLaune, 2008). La faible accumulation observée à Boussedra peut donc être liée à la période de prélèvement, à la dilution, à l'oxygénation du milieu ou à une transformation vers les nitrates.

La turbidité montre une charge particulière importante, avec des valeurs moyennes comprises entre 444,38 et 718,01 NTU. Cette charge peut être expliquée par la proximité du marais aux rejets, des remblais, des zones agricoles et des activités humaines autour du plan d'eau.

Pour mieux comprendre ces résultats, il faut aussi tenir compte de la forme du site. Le marais de Boussedra occupe une position basse et peu profonde, ce qui favorise l'arrivée des eaux de ruissellement depuis les bordures urbanisées, agricoles et industrielles. Cette configuration peut expliquer en partie la présence d'apports extérieurs dans l'eau, ainsi que certaines valeurs de minéralisation, de turbidité et de particules en suspension observées dans le marais.

Dans l'ensemble, les résultats donnent donc l'image d'un marais encore fonctionnel, mais exposé à une pression anthropique réelle : l'eau reste bien oxygénée au moment des mesures, mais elle présente une

minéralisation marquée, un pH alcalin, une présence de nitrates et une forte turbidité. Cette lecture correspond à la situation d'un milieu humide périurbain en contact avec des apports extérieurs, ce qui rejoint les travaux antérieurs réalisés sur le marais de Boussedra, qui décrivent ce site comme un milieu influencé par les rejets anthropiques, la pollution organique, les apports nutritifs, l'altération physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles, ainsi que le développement du phytoplancton (Benchabane et Merzoug, 2015 ; Himoud et Brahimi, 2016 ; Harridi et al., 2020 ; Hennouni, 2024 ; CRE, 2025).

La comparaison avec d'autres zones humides périurbaines comme le lac de Réghaïa (Ramsar Sites Information Service, 2019) qui reste une zone humide de grande valeur écologique malgré son emplacement urbain, marquée par une pression agricole et industrielle. Plusieurs autres études, indiquent que les zones humides urbaines ou périurbaines peuvent conserver une biodiversité importante tout en restant sensibles aux eaux usées, au ruissellement, aux particules en suspension, aux nutriments et aux modifications des habitats tout en assurant des fonctions écologiques importantes, comme la rétention des particules et la transformation de la matière organique et de l'azote (Kadlec et Wallace, 2009 ; Mitsch et Gosselink, 2015).

IV.3. Organisation des hélophytes, habitats préférentiels et valeur indicatrice

Les observations de terrain montrent que le marais de Boussedra possède une végétation hélophytique bien représentée, mais distribuée de manière non homogène. Les formations dominantes sont les typhaies à *Typha domingensis*, qui occupent principalement les bordures du plan d'eau ainsi que certaines zones internes en contact avec les eaux libres. Les formations à *Arundo donax* sont plus localisées, surtout dans les zones Sud et Ouest, souvent à proximité des secteurs anthropisés. *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus* sont aussi présents, mais de manière plus dispersée et souvent associée aux formations de bordure. Ces plantes émergentes des zones humides se développent justement surtout dans les zones de transition entre l'eau libre et les habitats périphériques qui sont souvent des espaces clés pour les échanges d'eau, de nutriments et de matière organique entre le bassin versant et le plan d'eau (Keddy, 2010 ; Mitsch et Gosselink, 2015). Ces zones sont généralement peu profondes et en contact avec les sédiments. Elles peuvent aussi recevoir des apports par ruissellement, rejets diffus, remaniement des berges ou activités humaines voisines.

En plus de leur rôle fonctionnel, les hélophytes peuvent donner une indication sur l'état écologique du milieu, car les macrophytes sont de bons indicateurs du niveau trophique des eaux (Melzer, 1999). Leur composition et leur densité changent selon la profondeur, la transparence de l'eau, la charge en

nutriments, le substrat et les perturbations humaines (Lacoul et Freedman, 2006), ce qui peut expliquer présence importante d'hélophytes dans les zones vaseuses, peu profondes et riches en matière organique dans le marais.

Les typhaies à *Typha domingensis* observées à Bouschedra peuvent donc indiquer des habitats riches en nutriments, en sédiments fins et en matière organique. Les espèces du genre *Typha* colonisent souvent les milieux humides eutrophes ou enrichis Keddy (2010), elles font partie des plantes émergentes fréquemment rencontrées dans les zones humides utilisées pour l'épuration (Vymazal, 2013). Bonanno et Cirelli (2017) ont montré que *Typha domingensis* peut accumuler certains éléments dans ses tissus, surtout au niveau des parties souterraines comme les racines et les rhizomes. De la même manière, les roselières à *Phragmites australis* et les formations à grandes cannes peuvent indiquer des zones perturbées ou enrichies. Les plantes émergentes peuvent aussi ralentir l'eau et favoriser le piégeage des particules, leurs racines et les rhizomes créent aussi un support pour les microorganismes de la rhizosphère (Brix, 1997 ; Stottmeister et al., (2003). Ces interactions contribuent aussi à la rétention des nutriments et aux transformations de l'azote (Vymazal, 2010, 2011).

IV.4. Rôle des hélophytes dans le fonctionnement épurateur du marais

Dans les zones humides, l'épuration résulte de l'action combinée de l'eau, des sédiments, des microorganismes et de la végétation. Cette épuration correspond à un ensemble de processus physiques, chimiques et biologiques (Kadlec et Wallace, 2009). Les sédiments et les conditions redox jouent aussi un rôle important dans ce fonctionnement, tout comme les microorganismes associés aux racines des plantes (Reddy et DeLaune, 2008 ; Stottmeister et al., 2003). Les hélophytes participent à ce fonctionnement grâce à leurs tiges, leurs racines et leurs rhizomes. Les macrophytes peuvent ralentir le mouvement de l'eau et modifier les conditions autour des racines, tandis que la rhizosphère sert de support aux microorganismes qui interviennent dans la dégradation de la matière organique (Brix, 1997 ; Stottmeister et al., 2003). La présence des plantes émergentes est aussi liée à la sédimentation, à la rétention des particules et aux transformations des nutriments (Vymazal, 2010).

Dans le site étudié, les typhaies à *Typha domingensis* représentent la formation hélophytique la plus importante. Les *typhas* sont souvent liés aux milieux humides riches en nutriments, et les espèces du genre *Typha* sont fréquentes dans les zones humides à végétation émergente et dans plusieurs systèmes d'épuration (Keddy, 2010 ; Vymazal, 2013). Leur forte présence en bordure du plan d'eau à Bouschedra leur donne donc une place particulière dans le fonctionnement du marais.

Typha domingensis montre aussi une capacité à retenir plusieurs éléments métalliques dans les racines, ce qui limite leur transfert vers les parties aériennes (Bonanno et Cirelli, 2017). Cette étude appuie l'idée

que les typhaies peuvent participer au rôle de filtre biologique dans les milieux humides enrichis. *Phragmites australis*, même moins dominante à Boussedra, peut aussi participer à ces processus. Cette espèce est l'une des plus utilisées dans les filtres plantés, notamment grâce à son système rhizomatique développé et à sa capacité à coloniser les substrats humides (Vymazal, 2011). Sa présence dans les formations de bordure peut donc renforcer localement les processus de filtration, de stabilisation et de transformation des nutriments. L'efficacité de *Phragmites australis* dans les systèmes de phytoremédiation est liée à la densité de ses tiges, à son réseau de rhizomes et à son aptitude à transférer de l'oxygène vers la zone racinaire (Milke et al., 2020). Ces caractéristiques favorisent la sédimentation des particules, le développement des biofilms microbiens et les transformations de la matière organique et des nutriments.

Arundo donax possède une forte biomasse et un système racinaire robuste, ce qui peut favoriser la stabilisation des berges, la rétention physique des particules et certains processus de phytoremédiation. Cette espèce a déjà été testée dans des systèmes de zones humides pour le traitement d'eaux usées particulières (Calheiros et al., 2012 ; Nsanganwimana et al., 2013). Elle peut également accumuler certains éléments traces, principalement dans les parties souterraines (Zhang et al., 2021). Dans le cas de Boussedra, ces informations renforcent l'idée que les formations à *Arundo* peuvent contribuer à la stabilisation des bordures et à la rétention de certaines charges polluantes, tout en restant liées aux zones perturbées. Sa présence surtout dans les zones Sud et Ouest peut traduire à la fois une fonction de stabilisation et une réponse aux perturbations des berges.

Schoenoplectus lacustris et *Iris pseudacorus* sont moins abondants, mais ils participent aussi aux formations de bordure. Plusieurs espèces émergentes, dont des scirpes et des iris, peuvent être associées aux zones humides de filtration (Vymazal, 2013). Dans notre étude, leur rôle semble plus local que celui des typhaies, mais leur présence renforce la diversité fonctionnelle des héliophytes du marais.

Ainsi, les héliophytes constituent un compartiment important du fonctionnement du marais. Elles contribuent à la structure des habitats, à la rétention physique des particules, au support des microorganismes et à la dynamique des nutriments. Leur rôle doit être compris avec celui des sédiments, de la profondeur de l'eau, de l'oxygénation et du temps de séjour.

Les espèces observées à Boussedra, notamment *Typha domingensis*, *Phragmites australis* et *Arundo donax*, ne sont pas de simples éléments de végétation. Ce sont des plantes souvent étudiées pour leur capacité à structurer les zones humides, à retenir les particules, à soutenir l'activité microbienne et, selon les cas, à accumuler certains éléments dans leurs tissus.

IV.5. Bathymétrie, paramètres physico-chimiques et répartition des hélophytes

La bathymétrie permet de mieux comprendre l'organisation spatiale du marais de Boussedra. Le site présente des bordures peu profondes et certaines parties internes plus profondes. La profondeur de l'eau constitue l'un des facteurs importants qui contrôlent la distribution des plantes émergentes dans les zones humides (Keddy, 2010). Cette idée correspond bien à Boussedra, où les grandes hélophytes se développent surtout dans les zones où les racines restent en contact avec un substrat humide ou saturé.

Cette organisation spatiale ne dépend pas seulement de la profondeur de l'eau. Elle est aussi liée à la forme du terrain et à la nature des sols. Au centre du marais, les habitats humides reposent surtout sur des sols hydromorphes et des dépôts fins. Sur certaines bordures, les sols sont plus remaniés à cause des remblais et des apports urbains. Cette différence de substrats peut expliquer en partie l'installation des hélophytes dans les zones humides, vaseuses et de transition (Durand, 1954 ; CRE, 2025).

Les typhaies se placent principalement en bordure du plan d'eau et dans certaines zones internes peu profondes. *Arundo donax* se rencontre davantage dans les zones périphériques et anthropisées. *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* et *Iris pseudacorus* apparaissent surtout dans des formations de bordure ou des groupements mixtes. Cette distribution correspond à une logique de zones de transition, où l'eau n'est pas trop profonde et où la végétation peut s'installer.

La sectorisation utilisée dans ce travail permet surtout de comparer les résultats physico-chimiques avec la distribution des formations hélophytiques. C'est un moyen de lire les différences spatiales du site. Les zones Sud et Ouest présentent une présence plus marquée des hélophytes. Ce sont aussi les zones où certains paramètres sont plus élevés, surtout les nitrates et la turbidité. Cette correspondance ne signifie pas que les hélophytes provoquent ces valeurs. Elle montre plutôt que ces formations occupent des zones où les apports nutritifs et particuliers sont plus visibles.

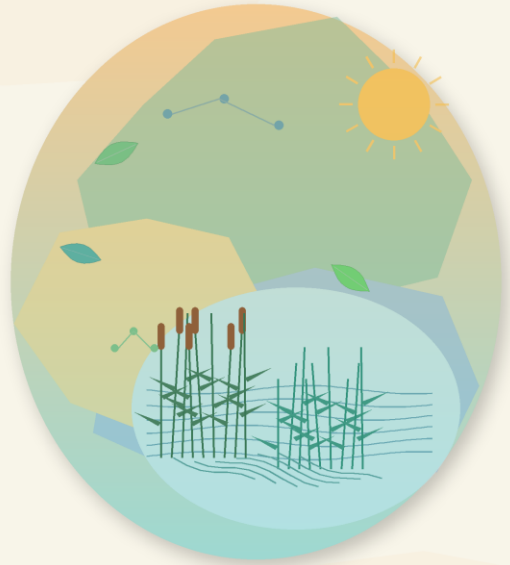
Cette situation renforce l'idée que les hélophytes peuvent jouer deux rôles dans la lecture du marais. D'un côté, elles participent au fonctionnement du milieu par la rétention des particules, la stabilisation du substrat et le soutien des microorganismes de la rhizosphère (Brix, 1997 ; Stottmeister et al., 2003). De l'autre, elles peuvent aussi avoir une valeur indicatrice, car les macrophytes répondent aux conditions du milieu, notamment aux nutriments, au substrat, à la turbidité et aux perturbations (Melzer, 1999 ; Lacoul et Freedman, 2006). Leur présence importante dans les zones Sud et Ouest peut donc être interprétée à la fois comme un élément fonctionnel et comme un signe écologique d'enrichissement du milieu.

Les zones Nord et Est montrent une répartition plus fragmentée des formations végétales et des valeurs généralement moins marquées pour certains indicateurs. Elles participent néanmoins à la variabilité globale du marais. Cette lecture spatiale montre que les hélophytes ne sont pas réparties au hasard : elles se développent surtout dans les bordures, les zones peu profondes et les espaces de transition entre les apports extérieurs et l'eau libre. Ces bordures jouent un rôle important dans les échanges avec le bassin versant, la rétention des particules et l'installation des plantes émergentes (Mitsch et Gosselink, 2015). Cette organisation peut aussi être reliée au fonctionnement hydrologique du marais. L'exutoire naturel du site est perturbé, et la présence de la voie ferrée peut limiter l'évacuation des eaux. Cette situation favorise une stagnation plus longue de l'eau, l'accumulation des matières en suspension et le colmatage progressif de certaines zones. Dans ce contexte, les bordures végétalisées prennent une importance particulière, car elles se situent entre les apports périphériques, les sédiments et l'eau libre (CRE, 2025).

Ainsi, d'après leur position spatiale, leur dominance dans les bordures et les mécanismes décrits dans la littérature, les hélophytes peuvent être considérées comme un compartiment fonctionnel important du potentiel épurateur naturel du marais de Boussedra. Elles ne sont pas le seul mécanisme d'autoépuration, mais elles participent à un ensemble formé par l'eau, les sédiments, les microorganismes, la profondeur et le temps de séjour de l'eau.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES



V. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de mieux comprendre les relations entre la qualité physico-chimique de l'eau, la répartition des grands hélophytes et le fonctionnement écologique du marais de Boussedra. L'objectif était d'évaluer le potentiel épurateur naturel des hélophytes à partir des paramètres physico-chimiques mesurés, de leur position spatiale et des données de la littérature. La comparaison des quatre secteurs du marais, Nord, Sud, Est et Ouest, a donc permis de mettre en évidence une organisation spatiale non homogène du site, liée à la fois aux conditions de l'eau, à la profondeur, aux bordures et aux pressions anthropiques.

Les résultats montrent que le marais de Boussedra est un milieu humide peu profond, alcalin et relativement minéralisé. Ils traduisent surtout une variabilité physico-chimique et une charge particulière importante, plutôt qu'une pollution organique directement démontrée par cette étude. Le secteur Sud se distingue par le pH le plus élevé (9,33), la conductivité électrique la plus forte (1834,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$), les TDS les plus élevés (1191,65 mg/L) et la concentration moyenne en nitrates la plus importante (15,91 mg/L). Le secteur Ouest présente la turbidité moyenne la plus élevée (718,01 NTU) et les valeurs les plus faibles d'oxygène dissous et d'ORP/Redox. À l'inverse, le secteur Nord montre la plus faible teneur moyenne en nitrates (8,01 mg/L), tandis que le secteur Est présente les valeurs les moins élevées pour certains paramètres de minéralisation, notamment la conductivité, les TDS et la salinité. Cependant, ce secteur ne doit pas être présenté comme le moins perturbé de manière générale, car il enregistre aussi la température moyenne la plus élevée et la valeur moyenne d'ammonium la plus importante, même si cette dernière reste très faible.

Ces résultats doivent aussi être interprétés en tenant compte de la configuration physique du marais. Boussedra occupe une position basse, avec des bordures peu profondes, des zones internes plus profondes et des substrats humides ou vaseux favorables à l'installation des hélophytes. La forme en cuvette du site, la faible pente du fond du marais, les sols hydromorphes et l'état perturbé de l'exutoire peuvent favoriser la stagnation de l'eau, la rétention des particules et l'accumulation progressive de matières en suspension dans certaines zones. Ainsi, la distribution des paramètres physico-chimiques ne dépend pas seulement des apports extérieurs, mais aussi de la bathymétrie, de la topographie, de la nature des sols et du temps de séjour de l'eau dans le marais.

Sur le plan végétal, l'inventaire réalisé sur le terrain montre une dominance nette des formations à *Typha domingensis*, qui constituent les principales ceintures hélophytiques du site. *Arundo donax* occupe une place importante mais plus localisée, surtout dans les secteurs Sud et Ouest, à proximité des zones perturbées et des bordures anthropisées. *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* et *Iris*

pseudacorus apparaissent de manière plus dispersée, principalement dans les formations de bordure ou les groupements mixtes. Cette organisation montre que les hélophytes ne sont pas réparties au hasard : elles occupent surtout les zones de transition entre les apports périphériques, les sédiments humides et l'eau libre.

La présence importante des hélophytes dans les secteurs Sud et Ouest, où les nitrates et la turbidité sont plus marqués, indique que ces formations végétales se développent dans des zones où les apports nutritifs, les particules en suspension et les perturbations des berges sont plus visibles. Les hélophytes peuvent donc être considérées à la fois comme des indicateurs écologiques de certains secteurs enrichis ou perturbés et comme un compartiment fonctionnel du marais. Leur rôle potentiel repose sur plusieurs mécanismes connus : ralentissement de l'eau, piégeage des particules, stabilisation du substrat, support pour les microorganismes de la rhizosphère et participation aux transformations de l'azote. Cependant, leur contribution réelle à l'épuration ne peut pas être quantifiée directement dans cette étude, car les concentrations dans les tissus végétaux, les sédiments et les flux d'eau entrants et sortants n'ont pas été mesurés.

Dans l'ensemble, le marais de Boussedra apparaît donc comme un écosystème encore fonctionnel, mais soumis à une pression anthropique réelle. Cette étude met également en évidence la sensibilité croissante des habitats aquatiques méditerranéens, tels que les marais, face aux pressions anthropiques croissantes, notamment l'urbanisation continue, les rejets domestiques et industriels, ainsi que les opérations de remblaiement des terres qui entraînent la réduction des surfaces aquatiques. Par conséquent, la préservation des fonctions écologiques des écosystèmes humides passe nécessairement par la protection de leurs communautés végétales, à travers des mesures concrètes visant à limiter les apports en polluants organiques et en nutriments, à surveiller les paramètres physico-chimiques tels que les concentrations en nitrates, la turbidité et la conductivité, et à interdire les activités anarchiques qui provoquent la fragmentation et la dégradation des berges et des ceintures végétales naturelles.

Les hélophytes participent, avec d'autres mécanismes d'autoépuration, au maintien de certaines fonctions écologiques du site. En effet, le fonctionnement épurateur potentiel du marais résulte plutôt d'un ensemble d'interactions entre l'eau, les sédiments, les microorganismes, la végétation, la profondeur, la stagnation et les apports provenant du bassin versant. La préservation de ces formations végétales, en particulier les ceintures de *Typha* et les bordures végétalisées, reste donc importante pour limiter l'érosion, favoriser la rétention des particules et maintenir les habitats nécessaires à la biodiversité locale.

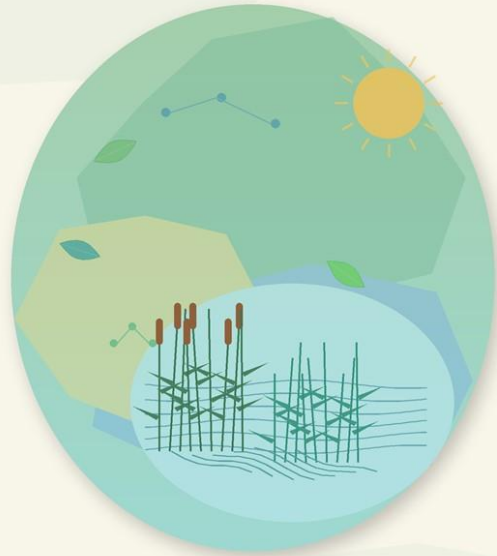
Pour compléter cette étude, plusieurs perspectives peuvent être proposées. Il serait d'abord utile de réaliser un suivi saisonnier et interannuel afin de mieux comprendre l'évolution des paramètres de qualité

de l'eau selon les périodes humides et sèches. Il serait également intéressant d'analyser les tissus végétaux, les racines et les sédiments afin d'évaluer la bioaccumulation réelle des éléments polluants et leur répartition dans les différents compartiments du marais.

Face aux changements climatiques, aux fluctuations des niveaux d'eau et aux périodes de sécheresse annuelle qui influencent directement la profondeur et la superficie du marais, il devient essentiel aussi d'approfondir les connaissances sur la résilience écologique de ces espèces végétales et leur capacité d'adaptation aux variations de salinité, d'oxygène et de nutriments dans les milieux semi-arides. La poursuite de ces recherches contribuerait non seulement à la protection et à la valorisation de la biodiversité floristique et faunistique unique du marais de Boussedra, mais aussi au développement de stratégies de gestion intégrée des zones humides reposant sur des systèmes naturels de filtration et des bioindicateurs végétaux fiables et sensibles.



SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE



VI. References bibliographiques

- Abdelhakeem, S. G., Aboulroos, S. A., & Kamel, M. M. (2016).** Performance of a vertical subsurface flow constructed wetland under different operational conditions. *Journal of Advanced Research*, 7, 803-814.
- Adam, J. G. (1964).** Contribution a l'etude de la vegetation des zones humides et des formations a Typha en Afrique de l'Ouest. Document botanique.
- Agrigon. (2000).** Conductivite electrique et mineralisation des eaux. Document technique d'analyse de l'eau.
- Ait Ali, N., Bernal, M. P., & Ater, M. (2004).** Tolerance and bioaccumulation of heavy metals by *Phragmites australis*. *Environmental and Experimental Botany*.
- Al-Snafi, A. E. (2015).** The constituents and biological effects of *Arundo donax*: A review. *International Journal of Phytopharmacy Research*.
- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007).** *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters* (2nd ed.). Springer.
- Allout, I. (2013).** Etude geographique de la wilaya d'Annaba. Document cartographique cite pour la situation geographique de la wilaya d'Annaba.
- Ambrose, R. F., & Rundel, P. W. (2007).** Influence of nutrient loading on the invasion of riparian zones by *Arundo donax*. In R. F. Ambrose & P. W. Rundel (Eds.), *Riparian ecology and invasive plants*.
- Aouadi, H. (2022).** Etude de la diversite faunistique et de la valeur ornithologique du marais de Boussedra. Memoire ou travail universitaire, Universite algerienne.
- Apfelbaum, S. I. (2000).** Cattail (*Typha* spp.) management and ecology. Applied Ecological Services, Inc.
- APHA. (2017).** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation.
- Arber, A. (1920).** *Water Plants: A Study of Aquatic Angiosperms*. Cambridge University Press.
- Baran, M., et al. (2000).** Biological and ecological characteristics of *Phragmites australis*.
- Battisti, C., Poeta, G., & Fanelli, G. (2008).** Mediterranean wetlands and biodiversity conservation.
- Beupoil, C., & Bornens, P. (1997).** Oxygene dissous et qualite des milieux aquatiques. Document technique sur la qualite de l'eau.

- Bell, G. P. (1997).** Ecology and management of *Arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in southern California. In J. H. Brock, M. Wade, P. Pysek, & D. Green (Eds.), *Plant Invasions: Studies from North America and Europe*. Backhuys Publishers.
- Belouahem-Abed, D. (2012).** Etude ecologique des zones humides du Nord-Est algerien. These de doctorat, Universite d'Annaba.
- Benchabane, R., & Merzoug, N. (2015).** Contribution a l'etude de la qualite bacteriologique et phytoplantonique de l'eau du marais de Boussedra El Bouni (Annaba). Memoire de master, Universite 8 Mai 1945 Guelma.
- Benton, N., Bell, G. P., Swearingen, J., & Johnson, J. (2006).** *Arundo donax*: Distribution, impact and management in riparian ecosystems.
- Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008).** Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849-2861.
- BirdLife International. (2021).** *Oxyura leucocephala*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021. BirdLife International.
- Bonanno, G., & Cirelli, G. L. (2017).** Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143, 92-101.
- Boudraa, W. (2015).** Contribution a l'etude ecologique du marais de Boussedra. Memoire universitaire, Universite algerienne.
- Boyd, C. E. (2015).** *Water Quality: An Introduction*. Springer.
- Brix, H. (1997).** Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*, 35(5), 11-17.
- Calheiros, C. S. C., Quiterio, P. V. B., Silva, G., Crispim, L. F. C., & Brix, H. (2012).** Use of constructed wetland systems with *Arundo* and *Sarcocornia* for polishing high salinity tannery wastewater. *Journal of Environmental Management*, 95, 66-71.
- Castany, G., & Margat, J. (1977).** *Dictionnaire francais d'hydrogeologie*. Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (BRGM).
- Chapman, D. (Ed.). (1996).** *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). UNESCO, WHO & UNEP.
- Chehma, A. M. (2006).** Catalogue des plantes spontanees du Sahara septentrional algerien. Laboratoire de Protection des Ecosystemes en Zones Arides et Semi-Arides, Universite Kasdi Merbah Ouargla.
- Chettibi, F. (2013).** Contribution a l'etude ecologique du marais de Boussedra (Annaba). Memoire universitaire, Universite d'Annaba.

- Chettibi, F. (2014).** Donnees ecologiques, floristiques et faunistiques du marais de Boussedra. Memoire ou travail universitaire, Universite d'Annaba.
- Christou, M. (2001).** Giant reed (*Arundo donax* L.) as an energy crop in southern Europe.
- Claude, L. (2007).** Description botanique et ecologique de *Phragmites australis*.
- Colette, C., et al. (2023).** Role des grands helophytes dans les processus ecologiques des zones humides.
- Centre de Recherche en Environnement (CRE). (2025).** Etude de classement du marais de Boussedra (Annaba). Rapport technique interne, Centre de Recherche en Environnement.
- Davies-Colley, R. J., & Smith, D. G. (2001).** Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1085-1101.
- Den Hartog, C., & Segal, S. (1964).** A new classification of the water-plant communities. *Acta Botanica Neerlandica*, 13, 367-393.
- Den Hartog, C., & Van der Velde, G. (1988).** Structural aspects of aquatic plant communities.
- Detay, M. (1993).** Le forage d'eau: Realisation, entretien, rehabilitation. Masson.
- Di Giorgi, F., et al. (2025).** Helophytes as bioindicators of ecological status in wetland environments.
- Didier, J., et al. (2025).** Morphologie et fonctionnement ecologique des helophytes des zones humides.
- Draidi, K., et al. (2023).** Avifaune aquatique et importance ecologique du marais de Boussedra (Annaba, Nord-Est algerien).
- Duke, J. A. (1983).** Handbook of Energy Crops. Purdue University, Center for New Crops and Plant Products.
- Durand, J. H. (1954).** Les sols d'Algérie. Service des études scientifiques, Gouvernement general de l'Algerie.
- Fauteux, M. (2002).** Ecologie et adaptation de *Phragmites australis* aux milieux humides.
- Ferreira, V., et al. (2023).** Wetlands as natural systems for water purification and pollutant retention.
- Ghai, Z. (2025).** La resilience de *Mauremys leprosa* sans des habitats contrastes. Mémoire de Master. Univ El Tarf
- Ghazali, D., & Zaid, A. (2013).** Etude de la qualite physico-chimique et bacteriologique des eaux. *Larhyss Journal*.
- Giudice, R. L., & Bonanno, G. (2010).** Heavy metal bioaccumulation by *Phragmites australis* in wetland environments.
- HANNA Instruments. (2018).** HI9828 Multiparameter Water Quality Meter: Instruction Manual. HANNA Instruments.

- Harridi, A., Djouaibia, A., & Ghadjati, I. (2020).** Approche qualitative du phytoplancton du marais de Boussedra (El-Bouni, Annaba). Memoire de master, Universite 8 Mai 1945 Guelma.
- Henning, J. A. (2001).** Biology and vegetative reproduction of *Typha* spp. in wetland habitats.
- Hennouni, M. A. (2024).** Valeur ornithologique du marais de Boussedra (Annaba, Nord-est de l'Algerie) et evaluation du degre de pollution. These de doctorat, Universite d'Oum El Bouaghi.
- Himoud, S., & Brahimi, S. (2016).** Approche qualitative du phytoplancton du marais de Boussedra (El-Bouni, Annaba). Memoire de master, Universite 8 Mai 1945 Guelma.
- Jean, P. C. (2013).** Classification botanique de *Phragmites australis*.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009).** Treatment Wetlands (2nd ed.). CRC Press.
- Keddy, P. A. (2010).** Wetland Ecology: Principles and Conservation (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Kleche, M., et al. (2013).** Accumulation des metaux lourds par *Phragmites australis*.
- Kloppmann, W., et al. (2011).** Salinity and mineralization of water: Hydrochemical classification and environmental interpretation.
- Lacoul, P., & Freedman, B. (2006).** Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems. Environmental Reviews, 14, 89-136.
- Lahlah, N. (2011).** Donnees climatiques et regime des vents dans la region d'Annaba. Memoire ou rapport universitaire, Universite d'Annaba.
- Larson, G. E. (1993).** Aquatic and Wetland Vascular Plants of the Northern Great Plains. General Technical Report RM-238. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Li, Y., et al. (2023).** Helophytes as indicators of wetland ecological status and purification potential.
- Mal, T. K., & Narine, L. (2004).** The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Canadian Journal of Plant Science, 84, 365-396.
- Medjdoub, H. (2014).** Role du systeme racinaire de *Phragmites australis* dans l'epuration des eaux usees. Memoire ou rapport universitaire.
- Mejelekh, D., & El Ganaoui, M. (2012).** Donnees climatiques de la region d'Annaba.
- Melzer, A. (1999).** Aquatic macrophytes as tools for lake management. Hydrobiologia, 395/396, 181-190.
- Meybeck, M., Friedrich, G., Thomas, R., & Chapman, D. (1996).** Rivers. In D. Chapman (Ed.), Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring (2nd ed.). UNESCO, WHO & UNEP.

- Milke, J., Galczyńska, M., & Wrobel, J. (2020).** The importance of biological and ecological properties of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., in phytoremediation of aquatic ecosystems: The review. *Water*, 12(6), 1770.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015).** *Wetlands* (5th ed.). Wiley.
- Nigel, M., et al. (2000).** Classification and ecological adaptations of aquatic plants.
- Nsanganwimana, F., Marchand, L., Douay, F., & Mench, M. (2013).** *Arundo donax* L., a candidate for phytomanaging water and soils contaminated by trace elements and producing plant-based feedstock: A review. *International Journal of Phytoremediation*, 16(1), 1-38.
- Otto-Bruc, C. (2001).** *Vegetation des étangs de la Brenne: Influence des pratiques piscicoles à l'échelle des communautés végétales et sur une espèce d'intérêt européen: Caldesia parnassifolia*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1.
- Paracuellos, M. (2008).** Effects of long-term habitat fragmentation on a wetland bird community. *Biodiversity and Conservation*.
- Plants of the World Online. (s. d.).** Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/>
- Preiner, S., et al. (2020).** Macrophytes, nutrient retention and microbial processes in wetlands.
- Ramade, F. (2011).** *Introduction à l'écotoxicologie: Fondements et applications* (2e ed.). Lavoisier.
- Ramsar Sites Information Service. (2019).** Réserve naturelle du lac de Reghaia. Fiche descriptive Ramsar, site n° 1304. Ramsar Convention Secretariat.
- Reddy, K. R., & DeLaune, R. D. (2008).** *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. CRC Press.
- Rodier, J. (1994).** *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (7e ed.). Dunod.
- Rodier, J. (1996).** *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (8e ed.). Dunod.
- Saadali, B. (2007).** *Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux et interprétation de la conductivité électrique*.
- Saeed, T., & Sun, G. (2012).** A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*, 112, 429-448.
- Saltonstall, K. (2010).** The diversity and reproductive biology of *Arundo donax* and related invasive reeds.
- Samraoui, B., & Samraoui, F. (2008).** An ornithological survey of Algerian wetlands: Important Bird Areas, Ramsar sites and threatened species. *Wildfowl*, 58, 71-96.

- Samraoui, B., et al. (2012).** Changes in the surface area and ecological status of the Boussedra marsh under urban pressure.
- Sand-Jensen, K., & Borum, J. (1991).** Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany*, 41(1-3), 137-175.
- Sarr, A. (2003).** Ecologie et biologie de *Typha domingensis* dans les milieux humides. Memoire ou rapport universitaire.
- Scholz, M., et al. (2001).** Description and ecological properties of *Phragmites australis* in wetland systems.
- Stottmeister, U., Wiessner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R. A., & Moormann, H. (2003).** Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, 22(1-2), 93-117.
- Talbi, A., et al. (2021).** Vegetation, habitats et interet ornithologique du marais de Boussedra.
- Thierrin, J., et al. (2001).** Oxygene dissous, fermentation de la matiere organique et qualite des eaux.
- Vymazal, J., Greenway, M., Tonderski, K., Brix, H., & Mander, U. (2007).** Constructed wetlands for wastewater treatment. In J. Vymazal (Ed.), *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands*. Springer.
- Vymazal, J. (2010).** Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530-549.
- Vymazal, J. (2011).** Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: A review. *Hydrobiologia*, 674, 133-156.
- Vymazal, J. (2013).** Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*, 61, 582-592.
- Vymazal, J., et al. (2023).** Plant uptake and nutrient removal in constructed wetlands: Recent developments.
- Wetzel, R. G. (2001).** *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
- Windham, L., Weis, J. S., & Weis, P. (2003).** Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(1), 63-72.
- Zeddouri, A. (2003).** Contribution à l'etude hydrochimique et a la qualite des eaux. Memoire universitaire, Universite algerienne.
- Zhang, D., Jiang, Q., Liang, D., Huang, S., & Liao, J. (2021).** The potential application of giant reed (*Arundo donax*) in ecological remediation. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 652367.