



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمدة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences
biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

**Étude phytochimique et activités antioxydantes et antibactériennes
d'une plante épuratrice de l'eau (*Juncus effusus*)
(Récoltée à Touggourt, Algérie)**

Soutenue le : 10/06/2026

Présenté par :

M^{lle} : Ben amar Romissa

Mme : Mammi Chafia

M^{lle} : Tabai Hanane

Devant le jury composé de :

Président :	SAADI Hamza	MCB	Université d'El Oued
Examineur :	ZAIME Sihem	MCB	Université d'El Oued
Encadrante :	GUEMMOUDA Messaouda	MCA	Université d'El Oued

Année Universitaire 2025-2026



Remerciements

Nous remercions tout d'abord le Tout-Puissant Allah de nous avoir donné le courage et la patience nécessaires pour réaliser ce travail.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements et notre gratitude à notre encadrante, Dr GUEMOUDA Messaouda, pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa gentillesse, sa générosité, son encouragement et son soutien, ainsi que pour ses conseils et ses orientations tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Toutes les expressions de gratitude sont insuffisantes pour exprimer nos remerciements à nos chers parents, qui ont toujours été notre soutien, ainsi qu'à nos chers frères et sœurs pour leur encouragement constant.

Nous remercions également tous les membres du jury (.....) qui ont accepté de juger notre travail.

Nous adressons aussi nos remerciements à l'ensemble des enseignants, au personnel des laboratoires, aux ouvriers et aux administrateurs de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.





Dédicace



À ceux dont l'existence a été la source de ma force, et dont la satisfaction a ouvert les portes de ma réussite, dont les prières ont nourri mon chemin, à mes chers parents, qui m'ont offert un amour indescriptible et un don inestimable, qui ont été mon soutien lorsque les pas chancelaient et ma lumière dans les moments d'obscurité. Qu'Allah les protège et leur accorde Sa grâce.

À mes frères et sœurs, prolongement de l'âme, compagnons de route et chaleur de la famille, qui ont été mon appui dans les épreuves et un pilier inébranlable.

À mes amies, dont l'amitié n'a pas été passagère, mais une empreinte durable dans la mémoire, une main tendue lorsque le chemin devient lourd, et un cœur qui apaise ce qui ne peut être dit, elles ont incarné pour moi le véritable sens de la loyauté.

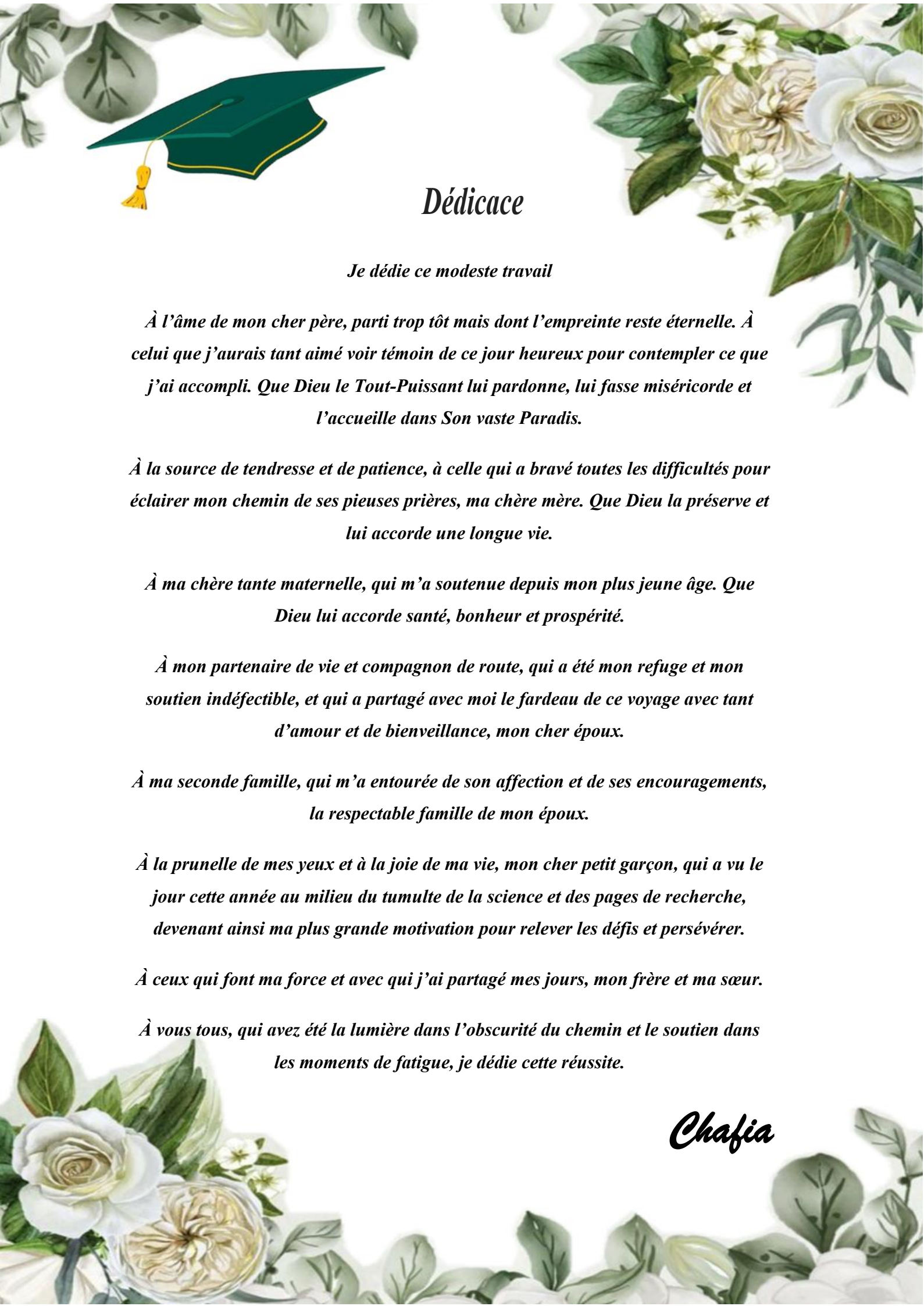
À mes professeurs distingués, porteurs de lumière et de savoir, qui n'ont pas seulement enseigné les lettres, mais aussi la construction de la pensée et la création du chemin, et qui ont été, après Allah, les artisans de cette réussite. À toute personne qui m'a tendu la main, prié pour moi dans l'invisible, cru en mes capacités lorsque je doutais, et à tous ceux qui ont laissé une empreinte bienveillante dans ma vie.

Je dédie humblement ce travail, en espérant de Dieu l'acceptation et la réussite.



Romaissa





Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À l'âme de mon cher père, parti trop tôt mais dont l'empreinte reste éternelle. À celui que j'aurais tant aimé voir témoin de ce jour heureux pour contempler ce que j'ai accompli. Que Dieu le Tout-Puissant lui pardonne, lui fasse miséricorde et l'accueille dans Son vaste Paradis.

À la source de tendresse et de patience, à celle qui a bravé toutes les difficultés pour éclairer mon chemin de ses pieuses prières, ma chère mère. Que Dieu la préserve et lui accorde une longue vie.

À ma chère tante maternelle, qui m'a soutenue depuis mon plus jeune âge. Que Dieu lui accorde santé, bonheur et prospérité.

À mon partenaire de vie et compagnon de route, qui a été mon refuge et mon soutien indéfectible, et qui a partagé avec moi le fardeau de ce voyage avec tant d'amour et de bienveillance, mon cher époux.

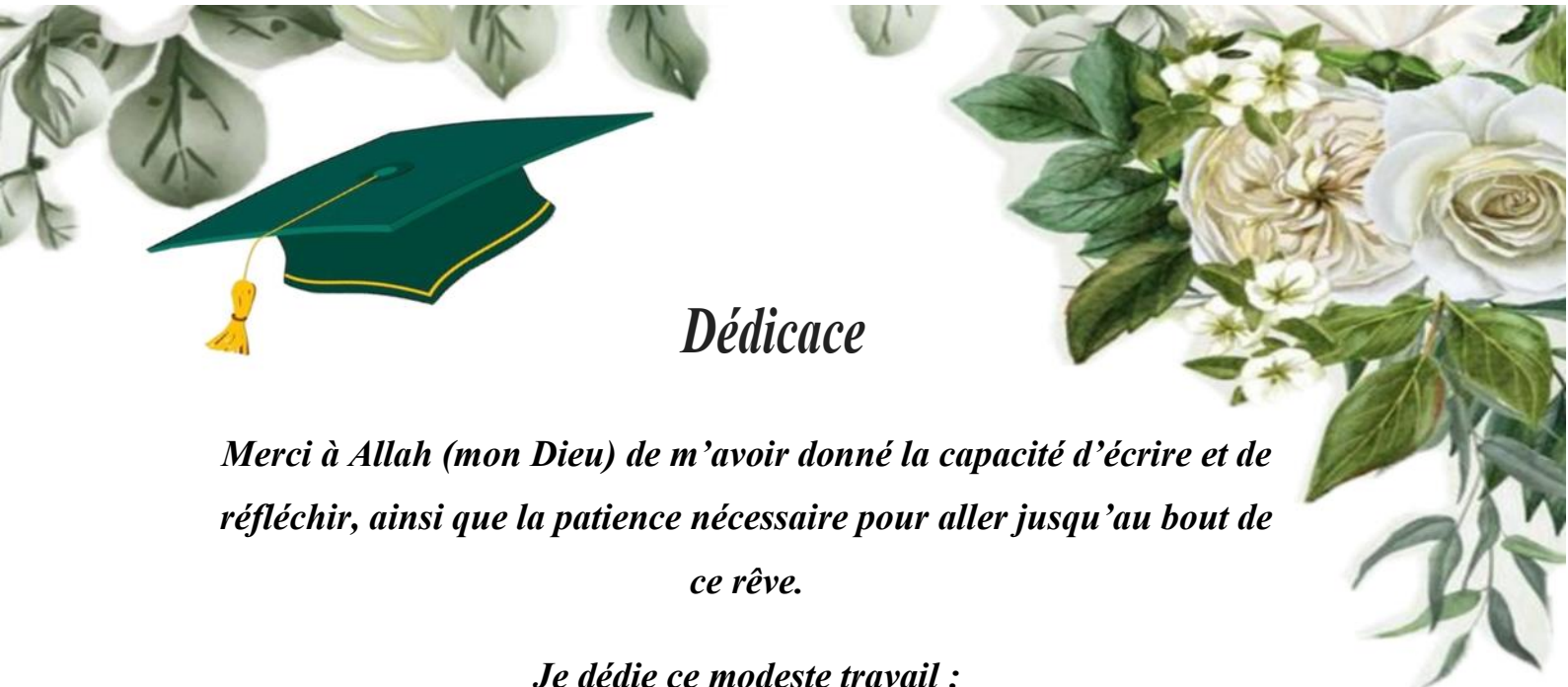
À ma seconde famille, qui m'a entourée de son affection et de ses encouragements, la respectable famille de mon époux.

À la prunelle de mes yeux et à la joie de ma vie, mon cher petit garçon, qui a vu le jour cette année au milieu du tumulte de la science et des pages de recherche, devenant ainsi ma plus grande motivation pour relever les défis et persévérer.

À ceux qui font ma force et avec qui j'ai partagé mes jours, mon frère et ma sœur.

À vous tous, qui avez été la lumière dans l'obscurité du chemin et le soutien dans les moments de fatigue, je dédie cette réussite.

Chafia



Dédicace

Merci à Allah (mon Dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, ainsi que la patience nécessaire pour aller jusqu'au bout de ce rêve.

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et leurs sacrifices, qui ont toujours été ma source de motivation et de courage tout au long de mon parcours académique.

À mon cher frère, pour son soutien continu et sa présence à mes côtés.

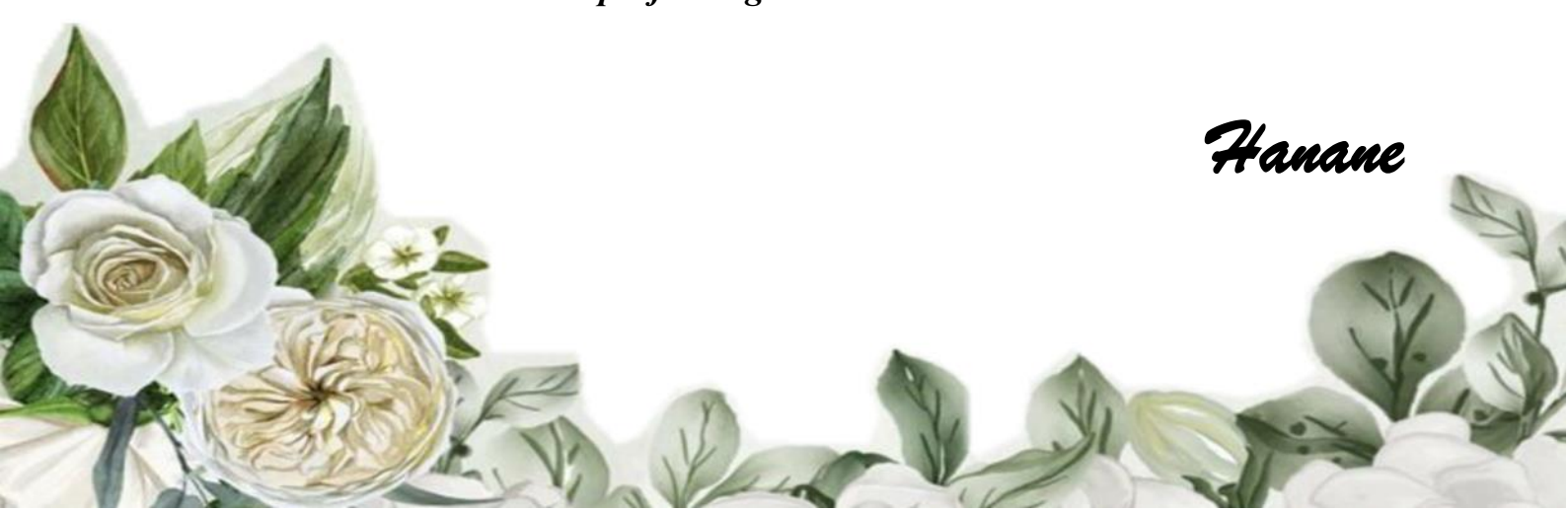
À mes très chères sœurs, pour leur affection et leur encouragement permanent.

À mes chers trinômes, pour leur esprit de collaboration et leur aide précieuse durant la réalisation de ce projet.

À mes professeurs et enseignants qui ont suivi mes études tout au long de ma carrière académique.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

Hanane



Résumé
ملخص
Abstract

Résumé

Cette étude vise à valoriser la plante *Juncus effusus* en identifiant ses constituants chimiques et en évaluant certaines de ses activités biologiques à partir de l'extrait aqueux de ses parties aériennes. Sur le plan méthodologique, nous avons réalisé un criblage phytochimique qualitatif afin d'identifier les composés secondaires (polyphénols, tanins, flavonoïdes, stéroïdes, triterpénoïdes, saponines, alcaloïdes, sucres réducteurs), suivi d'un dosage quantitatif des polyphénols totaux et des flavonoïdes par spectrophotométrie. L'activité antioxydante a été évaluée par le test au DPPH, et l'activité antibactérienne par la méthode de diffusion sur disque vis-à-vis de quatre souches bactériennes (*Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus hominis*, *Bacillus subtilis*) isolées d'eaux usées. Les résultats obtenus montrent que le rendement d'extraction est de 4 %. Le criblage phytochimique a révélé une présence notable de polyphénols, de tanins, de flavonoïdes, de triterpénoïdes, de saponines et d'alcaloïdes, ainsi que l'absence de stéroïdes et de sucres réducteurs. La teneur en polyphénols totaux est de 80,67 mg équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES), et celle des flavonoïdes est de 78,97 mg équivalent quercétine par gramme d'extrait sec (mg EQ/g ES). Concernant les activités biologiques, la plante a montré une faible activité antioxydante avec une valeur d'IC₅₀ de 23 072,45 µg/mL, tandis que l'activité antibactérienne a révélé une sensibilité nette, notamment pour *Bacillus subtilis* (11 mm), *Enterococcus faecalis* et *Staphylococcus hominis* (10 mm), et *Escherichia coli* (9 mm). Nous en déduisons que *Juncus effusus* possède une capacité à traiter les eaux usées grâce à sa richesse en composés phénoliques, flavonoïdes, alcaloïdes et saponines, lui permettant d'éliminer les bactéries présentes dans l'eau, ce qui en fait une plante prometteuse dans les applications de bioremédiation.

Mots-clés : *Juncus effusus*, plante épuratrice, composés phénoliques, Flavonoïdes, activité antioxydante, activité antibactérienne

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تبيين نبات *Juncus effusus* من خلال التعرف على مكوناته الكيميائية وتقييم بعض أنشطته البيولوجية باستعمال المستخلص المائي لأجزائه الهوائية. ومن الناحية المنهجية، أجرينا فحصاً فيتوكيميائياً نوعياً للتعرف على المركبات الثانوية، وهي: متعددات الفينول، والتانينات، والفلافونويدات، والستيرويدات، والترتربينويدات، والصابونينات، والقلويدات، والسكريات المختزلة، تلاه تقدير كمي لمحتوى متعددات الفينول الكلية والفلافونويدات باستعمال المطيافية الضوئية.

تم تقييم النشاط المضاد للأوكسدة بواسطة اختبار DPPH، كما تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا بطريقة الانتشار على الأقراص تجاه أربع سلالات بكتيرية معزولة من المياه المستعملة، وهي *Escherichia coli* و *Enterococcus faecalis* و *Staphylococcus hominis* و *Bacillus subtilis*.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن مردود الاستخلاص بلغ 4%. كما كشف الفحص الفيتوكيميائي عن وجود ملحوظ لمتعددات الفينول، والتانينات، والفلافونويدات، والترتربينويدات، والصابونينات، والقلويدات، مع غياب كل من الستيرويدات والسكريات المختزلة. وبلغ محتوى متعددات الفينول الكلية 80.67 ملغ مكافئ حمض الغاليك لكل غرام من المستخلص الجاف (mg EAG/g ES)، في حين بلغ محتوى الفلافونويدات 78.97 ملغ مكافئ الكيرسيتين لكل غرام من المستخلص الجاف (mg EQ/g ES).

وفيما يتعلق بالأنشطة البيولوجية، أظهر النبات نشاطاً مضاداً للأوكسدة ضعيفاً بقيمة IC_{50} بلغت 23072.45 ميكروغرام/مل، بينما أظهر النشاط المضاد للبكتيريا حساسية واضحة، خاصة تجاه *Bacillus subtilis* (11 مم)، و *i faecalis* و *Staphylococcus hominis* (10 مم)، و *Escherichia coli* (9 مم).

ونستنتج من ذلك أن نبات *Juncus effusus* يمتلك قدرة على المساهمة في معالجة المياه المستعملة بفضل غناه بالمركبات الفينولية والفلافونويدات والقلويدات والصابونينات، مما يمكنه من القضاء على البكتيريا الموجودة في المياه، وهو ما يجعله نباتاً واعداً في تطبيقات المعالجة الحيوية (Bioremediation).

الكلمات المفتاحية: *Juncus effusus*، نبات مُنقّي، مركبات فينولية، فلافونويدات، نشاط مضاد للأوكسدة، نشاط مضاد

للبكتيريا.

Abstract

This study aims to valorize the plant *Juncus effusus* by identifying its chemical constituents and evaluating some of the biological activities of the aqueous extract obtained from its aerial parts. From a methodological perspective, a qualitative phytochemical screening was carried out to identify secondary metabolites, including polyphenols, tannins, flavonoids, steroids, triterpenoids, saponins, alkaloids, and reducing sugars. This was followed by a quantitative determination of total polyphenols and flavonoids using spectrophotometry. Antioxidant activity was evaluated using the DPPH assay, while antibacterial activity was assessed by the disk diffusion method against four bacterial strains isolated from wastewater : *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus hominis*, and *Bacillus subtilis*. The results showed an extraction yield of 4%. Phytochemical screening revealed a notable presence of polyphenols, tannins, flavonoids, triterpenoids, saponins, and alkaloids, as well as the absence of steroids and reducing sugars. The total polyphenol content was 80.67 mg gallic acid equivalent per gram of dry extract (mg GAE/g DE), while the flavonoid content was 78.97 mg quercetin equivalent per gram of dry extract (mg QE/g DE). Regarding biological activities, the plant exhibited weak antioxidant activity with an IC₅₀ value of 23,072.45 µg/mL. In contrast, the antibacterial activity revealed clear sensitivity, particularly against *Bacillus subtilis* (11 mm), *Enterococcus faecalis* and *Staphylococcus hominis* (10 mm), and *Escherichia coli* (9 mm). We conclude that *Juncus effusus* possesses the potential to contribute to wastewater treatment due to its richness in phenolic compounds, flavonoids, alkaloids, and saponins, which enable it to eliminate bacteria present in water. This makes it a promising plant for bioremediation applications.

Keywords : *Juncus effusus*, phytoremediation plant, phenolic compounds, flavonoids, antioxidant activity, antibacterial activity.

Sommaire

Résumé

ملخص

Abstract

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale _____ 1

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre I: Généralités sur la plante

I. Généralités sur *Juncus effusus* _____ 5

I.1. Définition générale de la plante _____ 5

I.2. Importance écologique et rôle épurateur de l'eau _____ 5

I.3. Répartition géographique _____ 5

I.3.1. Répartition géographique mondiale _____ 5

I.3.2. Répartition en Algérie _____ 5

I.4. Description morphologique _____ 6

I.5. Taxonomie et cycle de vie _____ 6

I.5.1. Classification _____ 6

I.5.2. Mode de reproduction _____ 7

I.5.3. Cycle de vie _____ 7

I.5.4. Conditions écologiques favorables _____ 8

I.6. Utilisation _____ 8

I.6.1. Biologique _____ 8

I.6.2. Médicale _____ 8

I.6.3. Commercial _____ 8

I.6.4. Utilisation traditionnelle _____ 8

Chapitre II: Généralités sur Les Métabolites secondaires

II. Métabolites secondaires _____ 10

II.1. Polyphénols _____ 10

II.1.1. Définition de polyphénols _____ 10

II.1.2. Rôle des polyphénols _____ 10

II.1.3. Type des polyphénols _____ 10

II.1.3.1. Acides phénoliques _____ 10

II.1.3.1.1. Définition	10
II.1.3.1.2. Rôle des acides phénoliques	11
II.1.3.2. Flavonoïdes	11
II.1.3.2.1. Définition	11
II.1.3.2.2. Rôle des Flavonoïdes	12
II.1.3.2.3. Types des Flavonoïdes	12
II.1.3.2.3.1. Flavones	12
II.1.3.2.3.2. Flavonols	13
II.1.3.2.3.3. Flavanones	14
II.1.3.2.3.4. Flavanols (Flavan-3-ols)	15
II.1.3.2.3.5. Isoflavones	15
II.1.3.2.3.6. Anthocyanidines	16
II.1.3.3. Tanins	17
II.1.3.3.1. Définition	17
II.1.3.3.2. Rôle des Tanins	18
II.1.3.4. Coumarines	18
II.1.3.4.1. Définition	18
II.1.3.4.2. Rôle des coumarines	19
II.2. Alcaloïdes	19
II.2.1. Définition	19
II.2.2. Rôle biologique des Alcaloïdes	19
II.2.3. Types des alcaloïdes	19
II.2.3.1. Alcaloïdes vrais	19
II.2.3.1.1. Définition	19
II.2.3.1.2. Rôle des alcaloïdes vrais	20
II.2.3.2. Pseudo-alcaloïdes	20
II.2.3.2.1. Définition	20
II.2.3.2.2. Rôle des pseudo-alcaloïdes	21
II.2.3.3. Proto-alcaloïdes	21
II.2.3.3.1. Définition	21
II.2.3.3.2. Rôle des proto-alcaloïdes	21

Partie II: Etude expérimentale

Chapitre I: Matériels et Méthodes

I. Matériels et Méthodes	25
---------------------------------	-----------

I.1. Récolte de l'espèce végétale étudiée	25
I.2. Préparation de l'extrait aqueux	25
I.3. Détermination du rendement d'extraction	26
I.4. Etude des paramètres phytochimiques	26
I.4.1. Analyse qualitative	26
I.4.1.1. Test des polyphénols	26
I.4.1.2. Test des tanins	26
I.4.1.3. Test des stéroïdes	26
I.4.1.4. Test des flavonoïdes	27
I.4.1.5. Test des triterpénoïdes	27
I.4.1.6. Test des saponines	27
I.4.1.7. Test des alcaloïdes	27
I.4.1.8. Test des sucres réducteurs	27
I.5. Analyse quantitative	27
I.5.1. Dosage des composés phénoliques	27
I.5.2. Dosage des flavonoïdes	29
I.6. Analyse microbiologique des eaux usées	30
I.6.1. Site de prélèvement et échantillonnage	30
I.6.2. Transport des échantillons	30
I.6.3. Dénombrement microbiologique	30
I.6.4. Milieux de culture utilisés	30
I.6.5. Incubation et observation macroscopique	31
I.6.6. Identification des isolats bactériens	31
I.6.7. Conservation des isolats	31
I.7. Activité antibactérienne	32
I.8. Activité antioxydante	35
Chapitre II: Résultats et discussion	
II. Résultats et discussion	39
II.1. Détermination du rendement	39
II.2. Analyse qualitative	39
II.3. Analyse quantitative	42
II.3.1. Dosage des polyphénols	42
II.3.2. Dosage des flavonoïdes	43
II.4. Analyse microbiologique des eaux usées	44
II.5. Activité antibactérienne	46

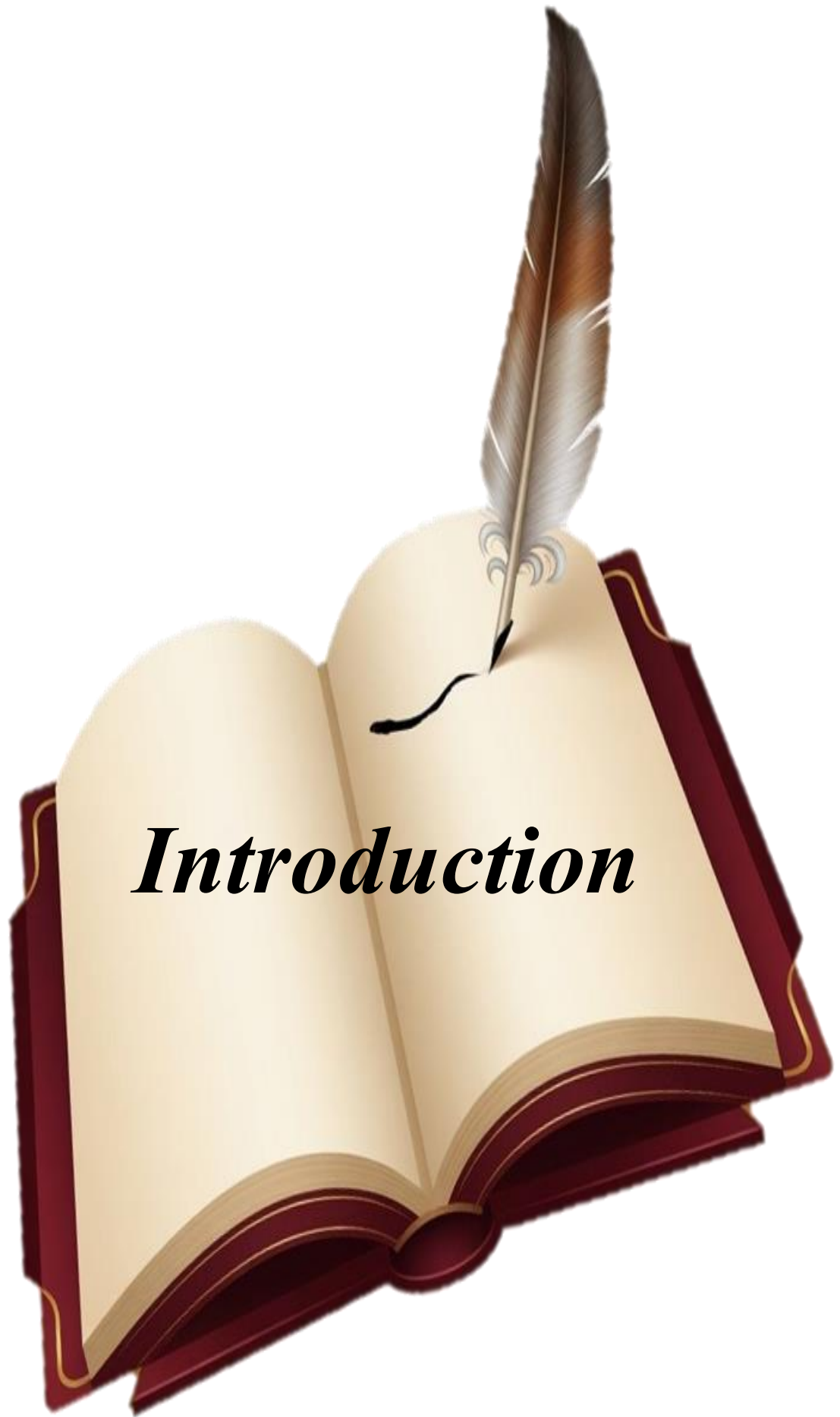
II.6. Activité antioxydante	49
Conclusion générale et perspective	52
Référence bibliographique	

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	<i>Juncus effusus</i>	07
2	Structure de base de l'acide hydroxybenzoïque	10
3	Structure de base de l'acide hydroxycinnamique	11
4	Structure de base des flavonoïdes	12
5	Structure d'acide gallique : unité de base des tanins hydrolysables	18
6	Structure de base des coumarines	18
7	Structure chimique d'alcaloïdes vrais (exemple d'Usambarensine)	20
8	Exemple de pseudo-alcaloïdes	21
9	Exemple de proto-alcaloïdes (Mescaline)	21
10	Photographie du dispositif expérimental de culture bactérienne en laboratoire (Photo originale).	32
11	Revivification et culture des souches bactériennes.	33
12	Principe de la méthode de diffusion sur disques	35
13	Forme libre et réduite du DPPH	35
14	. Observation des réactions colorimétriques du criblage qualitative phytochimique d'extrait de <i>J. effusus</i> (Photo originale).	40
15	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.	42
16	Courbe d'étalonnage de la quercétine	43
17	Photographies représentatives des résultats de culture bactérienne des échantillons d'eau (SM1, SM2, SM3) sur différents milieux gélosés sélectifs et non sélectifs (Photo originale).	44
18	Evaluation de l'activité antibactérienne d'extrait aqueux de <i>Juncus effusus</i> sur les différentes souches bactériennes (Photo originale).	47
19	Pourcentage d'inhibition du DPPH par l'extrait aqueux de <i>Juncus effusus</i>	49
20	Pourcentage d'inhibition du DPPH par l'acide ascorbique	49

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Structures des principaux groupes de flavonoïdes	17
2	Exemples des alcaloïdes ayant une propriété biologique	22
3	Préparation de la solution S1.	28
4	Gamme d'étalonnage de l'acide gallique	29
5	Gamme d'étalonnage de la Quercetine	30
6	Évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait par le test DPPH	36
7	Évaluation de l'activité antioxydante de l'acide ascorbique par le test DPPH	36
8	Résultats des analyses phytochimiques qualitative d'extrait de <i>J. effusus</i>	40
9	Souches bactériennes isolées des eaux usées prélevée de la station ONA El-Oued D'El oued	44
10	Dénombrement de la flore bactérienne totale et des coliformes (dilution 10^{-3})	45
11	Identification des bactéries isolées et fréquence relative d'isolement ; Légende fréquence : + Présence faible, ++ présence modérée, +++ présence élevée	46
12	Activité antibactérienne d'extrait aqueux de <i>Juncus effusus</i> en fonction de la concentration (50-100 mg/mL) et témoin négatif.	47



Introduction

Introduction générale

L'eau est une ressource essentielle à la vie et à l'équilibre des écosystèmes. Elle est indispensable pour l'agriculture, l'industrie, l'alimentation et la consommation domestique. Sans elle, il serait impossible de maintenir les sociétés humaines et la biodiversité. Cependant, au cours des dernières décennies, la qualité et la disponibilité de l'eau ont été affectées par l'urbanisation, l'industrialisation et les activités agricoles intensives, entraînant une pollution croissante des ressources en eau et des risques pour la santé humaine (WHO, 2017).

Le traitement des eaux usées constitue un enjeu majeur pour la protection de l'environnement et la préservation des ressources en eau. Les procédés conventionnels, notamment les boues activées, sont largement utilisés en raison de leur efficacité élevée. Cependant, ces systèmes présentent plusieurs inconvénients, tels qu'une forte consommation d'énergie, une dépendance à des équipements mécaniques et à une alimentation électrique continue, ainsi que des coûts d'exploitation et de maintenance relativement élevés (Von Sperling, 2007). Par ailleurs, les stations d'épuration conventionnelles nécessitent souvent des investissements importants et une gestion technique spécialisée (Kadlec & Wallace, 2009). Ces contraintes ont encouragé le développement de technologies alternatives plus durables et respectueuses de l'environnement.

La phytoépuration constitue l'une de ces solutions naturelles et écologiques. Elle repose sur l'utilisation de plantes aquatiques ou semi-aquatiques capables d'absorber, de transformer ou de retenir les polluants présents dans l'eau. Ces systèmes associent généralement des végétaux à des substrats tels que le sable ou le gravier, favorisant ainsi les processus physiques, chimiques et biologiques impliqués dans l'épuration des eaux usées (Vymazal, 2010).

Parmi les espèces végétales utilisées dans les systèmes de phytoépuration, *Juncus effusus* occupe une place importante en raison de son adaptation aux milieux humides, de sa croissance rapide et de son système rhizosphérique dense constitué de rhizomes. Ces caractéristiques favorisent l'élimination de nombreux contaminants et améliorent l'efficacité du traitement des eaux usées (Vymazal, 2011 ; Calheiros *et al.*, 2015).

Outre son intérêt dans la phytoépuration, *Juncus effusus* présente également un potentiel biologique remarquable. Plusieurs études ont mis en évidence la présence de composés phénoliques et d'autres métabolites secondaires biologiquement actifs au sein de cette espèce. Ces composés sont associés à diverses propriétés biologiques, notamment des activités antioxydantes et antibactériennes. Cependant, les recherches intégrantes

simultanément l'analyse phytochimique et l'évaluation des activités biologiques de *Juncus effusus* demeurent relativement limitées, ce qui souligne l'intérêt d'approfondir l'étude de son potentiel bioactif et environnemental (Li *et al.*, 2007 ; Zhao *et al.*, 2018).

Ainsi, le présent travail se concentre sur l'évaluation approfondie de *Juncus effusus* en tant que plante épuratrice de l'eau, en explorant sa composition phytochimique ainsi que ses activités biologiques, notamment antioxydante et antibactérienne. L'objectif principal est de mettre en évidence le potentiel intégré de cette espèce, non seulement pour la purification des eaux polluées, mais également comme source de composés bioactifs susceptibles de présenter un intérêt environnemental et pharmaceutique. Cette approche vise à enrichir les connaissances scientifiques sur *Juncus effusus* et à contribuer au développement de stratégies durables de gestion et de valorisation des ressources en eau.

**Partie I :
Synthèse
Bibliographique**

Chapitre I

Généralités sur la plante



I. Généralités sur *Juncus effusus*

I.1. Définition générale de la plante

Juncus effusus L. (communément appelé jonc commun, jonc diffus ou jonc des chaisiers) est une espèce de la famille des Juncaceae et de l'ordre des Poales. C'est un jonc héliophyte qui pousse dans des habitats terrestres humides ou détrempés des régions tempérées et présente une distribution quasi cosmopolite (Arslan *et al.*, 2019).

I.2. Importance écologique et rôle épurateur de l'eau

Juncus effusus (le Jonc commun) est utilisé dans le traitement des eaux usées, l'élimination des mauvaises odeurs et leur purification dans de nombreux pays européens tels que la Grande-Bretagne et le Danemark. Il est également planté le long des routes et sur les berges des cours d'eau afin de prévenir l'érosion des sols. Une faible proportion est utilisée comme plante ornementale dans les forêts (Zerdi, 2017). *Juncus effusus* est utilisé pour réduire le pourcentage de minéraux dans les eaux polluées (Kadlec & Knight, 1996).

I.3. Répartition géographique

I.3.1. Répartition géographique mondiale

Juncus effusus est présent dans plusieurs régions du monde arabe, depuis le Machrek jusqu'au Maghreb, en passant par la péninsule Arabique et la vallée du Nil. Il est également présent dans plusieurs régions du globe, notamment en Turquie, à Chypre, en Italie, en Australie, en Amérique du Sud et du Nord, ainsi qu'en Asie orientale. Cette répartition étendue reflète l'importante capacité d'adaptation écologique de l'espèce (Abed, 2015), *Juncus effusus* se développe principalement dans des milieux humides à très humides tels que les prairies, les pâturages, les bords de routes, les fossés, les zones ouvertes, les vasières ainsi que les marges des étangs et des tourbières. Cette espèce est fréquemment observée dans des habitats perturbés. Elle constitue également un indicateur écologique de sols fortement humides à saturés en eau, généralement à teneur moyenne en azote (Hohlfeld, 2010).

I.3.2. Répartition en Algérie

Juncus effusus est une plante médicinale présente dans le nord de l'Algérie, plus précisément dans les communes de Haizer et d'El Asnam, dans la province de Bouira, où ses caractéristiques ethnobotaniques, sa distribution locale et des indicateurs quantitatifs ont été documentés (Sahar, 2022). Cette espèce se rencontre également dans les forêts d'aulne glutineux de la réserve de biosphère d'El Kala, avec une fréquence de 46,4 %, ce qui la classe

comme espèce commune d'après les études de terrain menées dans la région (Necer *et al.*, 2019).

I.4. Description morphologique

Juncus effusus est une plante vivace se développant sous forme touffes denses, elle se caractérise par des tiges robustes et cylindriques mesurant de 30 à 150 cm de long. Ces tiges sont lisses et brillantes à l'état frais, mais se strient en séchant. Elles sont dépourvues de nœuds ; les feuilles, exclusivement basales, sont réduites à des gaines sans limbe. La gaine supérieure se distingue par la présence d'ailes scarieuses asymétriques sur ses épaules symétriques, un signe distinctif unique. L'inflorescence, d'apparence latérale du fait de la bractée qui semble être le prolongement de la tige, est lâche portant de 30 à plus de 250 fleurs. Chaque fleur ne possède que trois étamines et de nombreux tépales brun châtain. Le fruit est une capsule obovale à triangulaire-ovale, de couleur brun olive brillant, contenant de petites graines jaune rougeâtre dépourvues de pédoncule (Licher, 2019).

I.5. Taxonomie et cycle de vie

I.5.1. Classification

Selon Abed (2015) la classification taxonomique de l'espèce étudiée est basée sur plusieurs traits taxonomiques comme suivant :

- **Domaine** : Eucaryote
- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Monocotylédones
- **Ordre** : Junciales
- **Famille** : Juncaceae
- **Genre** : *Juncus*
- **Espèce** : *Juncus effusus* L (Carl Linnaeus, 1753) (figure 01)



Figure 01. *Juncus effusus* (Bussmann *et al.*, 2017).

I.5.2. Mode de reproduction

Juncus effusus se développe latéralement de manière circulaire, formant des touffes denses de chaumes grâce à sa croissance végétative par des rhizomes souterrains qui produisent à la fois des pousses florifères et des pousses stériles. Ces rhizomes croissent horizontalement à une profondeur de 1,5 à 3 cm, constituant un réseau dense et fortement ramifié avec un taux de croissance annuel estimé à environ 2 cm, tandis que ses racines adventives pénètrent verticalement le sol jusqu'à des profondeurs de 15 à 22,5 cm, certaines pouvant atteindre la nappe phréatique à 50 cm, sur le plan saisonnier, la croissance active des racines et des parties aériennes débute en mars, et la floraison intervient généralement entre juillet et août, les chaumes dressés ayant la capacité de persister durant l'hiver bien qu'ils brunissent partiellement (Mccorrey *et al.*, 2003).

I.5.3. Cycle de vie

En septembre et en octobre, deux feuilles sont généralement produites à l'apex et passent l'hiver. Ces feuilles hivernantes, reconnaissables à leurs extrémités givrées qui restent brunes, voient leur méristème basal redevenir actif en mars ou avril. Une fois la croissance de ces feuilles achevée au printemps, la phase principale de croissance des tiges florifères commence, pouvant atteindre jusqu'à cinq tiges, la plante conserve une disposition distique (à deux rangs) visible même en cas de ramification, ce qui permet de mesurer la croissance annuelle après la floraison, depuis la base des feuilles hivernantes de l'année précédente.

jusqu'à l'extrémité du rhizome. Ce cycle est considéré comme achevé lorsque le rhizome porte déjà les ébauches des pousses hivernantes de l'année en cours (Agnew, 1961).

I.5.4. Conditions écologiques favorables

Juncus effusus préfère les milieux humides tels que les mares, les marécages, les bords de lacs et les rives de rivières (Licher, 2019), se rencontre majoritairement sur des sols à tendance acide, avec des valeurs de pH comprises entre 3,5 et 7, dépassant rarement ce seuil (Abed, 2015). Elle se distingue également par sa capacité de croissance dans l'eau saumâtre et sous fluctuations des niveaux hydriques (Karstens *et al.*, 2021).

I.6. Utilisation

I.6.1. Biologique

Juncus effusus s'est révélé adapté à la phytoremédiation dans les zones humides artificielles, son utilisation permet d'obtenir des peuplements à rendement élevé selon le niveau de stress environnemental et la charge nutritive des eaux usées (Müller *et al.*, 2020).

I.6.2. Médicale

Les études ethnobotaniques menées en Algérie, notamment dans la wilaya de Bouira, confirment que la plante *Juncus effusus* L. est effectivement utilisée par la population locale pour le traitement des calculs rénaux (Sahar, 2022).

I.6.3. Commercial

La plante étudiée parfois nécessaire afin d'améliorer les services écosystémiques, notamment par l'élimination des nutriments, la réduction de la compétition végétale et la création d'habitats favorables à l'avifaune. Bien que sa valeur fourragère soit faible, la biomasse récoltée peut être valorisée, en particulier à des fins énergétiques (Müller *et al.*, 2020).

I.6.4. Utilisation traditionnelle

Juncus effusus peut être utilisée pour fabriquer des ustensiles tressés et préparer des remèdes médicinaux. La moelle de la tige peut également être utilisée pour fabriquer des mèches de lampes et des mèches d'oreillers (Wu *et al.*, 2022).

Chapitre II

Généralités sur Les
Métabolites secondaires



II. Métabolites secondaires

II.1. Polyphénols

II.1.1. Définition de polyphénols

Les termes « polyphénols » ou « composés phénoliques » désignent un large groupe comprenant plus de 8000 molécules réparties en plusieurs classes chimiques. Ces composés ont en commun la présence, dans leur structure, d'au moins un noyau aromatique constitué de six atomes de carbone et portant un nombre variable de groupements hydroxyles (OH) (Fellah, 2019).

II.1.2. Rôle des polyphénols

Les polyphénols jouent un rôle important dans l'activité antioxydante. Grâce à leur capacité à transférer un électron ou un atome d'hydrogène, ils agissent comme des antioxydants efficaces en neutralisant les radicaux libres. Par ce mécanisme, ils contribuent à limiter les processus d'oxydation en bloquant ou en inactivant les espèces réactives ainsi que les précurseurs des radicaux libres (Reguib, 2021).

II.1.3. Type des polyphénols

II.1.3.1. Acides phénoliques

II.1.3.1.1. Définition

Les acides phénoliques sont des composés organiques caractérisés par la présence d'au moins une fonction carboxylique associée à une fonction phénolique. Dans les végétaux, ils existent sous forme libre ou combinée. Ils se divisent principalement en deux sous-classes : les acides hydroxybenzoïques, possédant une structure de base de type C6-C1 (**figure 02**), et les acides hydroxycinnamiques, caractérisés par une structure de type C6-C3 (figure03) (Hakem, 2023).

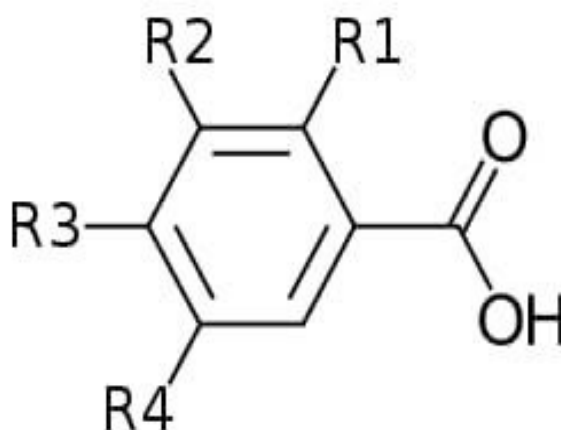


Figure 02. Structure de base de l'acide hydroxybenzoïque (Sahli, 2017).

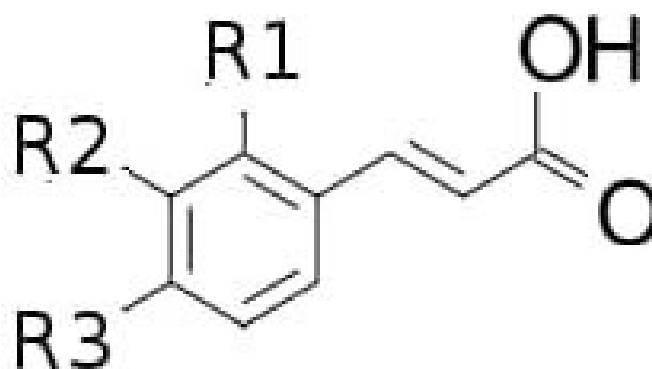


Figure 03. Structure de base de l'acide hydroxycinnamique (Sahli, 2017).

II.1.3.1.2. Rôle des acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés possédant une importante activité antioxydante. Grâce à leur capacité à neutraliser les radicaux libres, ils contribuent à la protection des cellules contre le stress oxydatif. Certains acides phénoliques, tels que l'acide chlorogénique et l'acide caféique présentent des propriétés biologiques intéressantes, notamment des effets anti-inflammatoires et protecteurs des acides nucléiques (Belguidoum, 2018).

II.1.3.2. Flavonoïdes

II.1.3.2.1. Définition

Les flavonoïdes représentent le groupe le plus important des composés phénoliques présents dans le règne végétal. Ce sont des pigments naturels responsables des différentes colorations jaunes, orangées et rouges et parfois bleues observées dans plusieurs organes des plantes. Sur le plan chimique, les flavonoïdes est constituée de quinze atomes de carbone organisés selon un squelette de type (C6-C3-C6). Celui-ci comprend deux noyaux aromatiques A et B reliés par une chaîne de trois carbones formant généralement un hétérocycle central (cycle C) (figure 04). Les flavonoïdes sont classés en plusieurs catégories selon le degré d'oxydation du noyau pyranique central, notamment les flavones, les flavonols, les flavanones, flavanols, les isoflavones, les anthocyanes et les aurones (Belguidoum, 2018 ; Ghedadba, 2021).

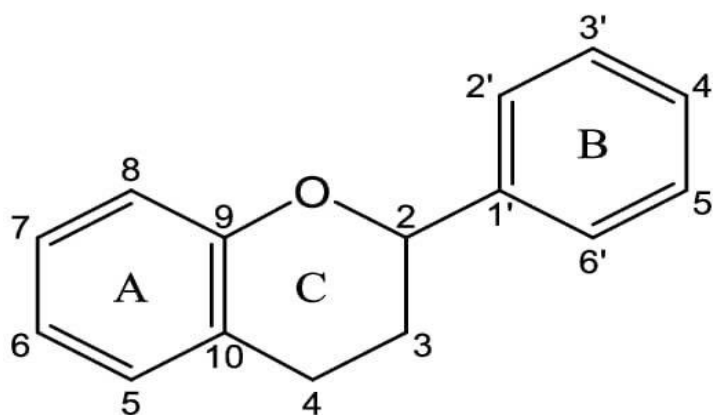


Figure 04. Structure de base des flavonoïdes (Guergour, 2018).

II.1.3.2.2. Rôle des Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent des pigments largement répandus dans le règne végétal et présentent une grande diversité structurale. Certains d'entre eux sont incolores, mais peuvent intervenir comme co-pigments. Ces composés participent fréquemment à la défense des plantes contre le stress oxydatif, les herbivores ainsi que les agressions microbiennes, et sont également souvent associés à l'activité antioxydante. Tous les flavonoïdes partagent une même origine biosynthétique, ce qui explique qu'ils possèdent un noyau structural commun correspondant à l'enchaînement 2-phénylchromane. Leur structure repose ainsi sur un squelette de type C6–C3–C6 (**Hakem, 2023**).

II.1.3.2.3. Types des Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont classés en plusieurs sous-classes selon le degré d'oxydation et les substitutions du cycle central (C). Chaque groupe possède des activités biologiques spécifiques :

II.1.3.2.3.1. Flavones

II.1.3.2.3.1.1. Définition

Les flavones constituent l'un des sous-groupes importants des flavonoïdes. Elles sont largement présentes dans les feuilles, les fleurs et les fruits sous forme de glucosides. Le céleri, le persil, les poivrons rouges, la camomille, la menthe et le Ginkgo biloba figurent parmi les principales sources de flavones. La lutéoline, l'apigénine et la tangerétine appartiennent à cette sous-classe de flavonoïdes. Sur le plan structural, les flavones possèdent une double liaison entre les positions C2 et C3 ainsi qu'une fonction cétone en position C4 du cycle C. Les flavones sont variés selon la classification taxonomique du végétal concerné (**Panche, 2016**).

II.1.3.2.3.1.2. Rôle des Flavones

Les flavones présentent plusieurs activités biologiques importantes :

- Effets cardioprotecteurs et anticancéreuses : Les flavones exercent un effet spécifique sur l'activité cardiovasculaire et sont impliquées dans le traitement de divers types de cancers (Al-Khayri *et al.*, 2022).

- Inhibition enzymatique : Elles augmentent l'inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE), ce qui est crucial pour la maladie d'Alzheimer (Abou Baker, 2022).

- Mécanisme anti-inflammatoire : Elles inhibent l'activation du facteur NF- κ B ainsi que l'expression de l'iNOS (Yunusoğlu *et al.*, 2025).

II.1.3.2.3.2. Flavonols

II.1.3.2.3.2.1. Définition

Les flavonols sont des flavonoïdes possédant un groupe hydroxyle en position en position C3 du cycle C. Les flavonols sont abondamment présents dans une variété de fruits et légumes. Les composés les plus connus sont le kaempférol, la quercétine, la myricétine et la fisétine. Les oignons, le chou frisé, la laitue, les tomates, les pommes, les raisins et les baies sont des sources riches en flavonols. Outre les fruits et légumes, le thé et le vin rouge constituent également des sources de flavonols. Il a été démontré que la consommation de flavonols est associée à de nombreux bienfaits pour la santé, notamment un potentiel antioxydant et une réduction du risque de maladies vasculaires (Panche, 2016).

II.1.3.2.3.2.2. Rôle des Flavonols

Les flavonols possèdent (Rashid *et al.*, 2019 ; Abou Baker, 2022) :

- Une Activité antivirale (COVID-19) : La structure de base et la présence d'une unité rutine en position C3 du cycle C augmentent l'activité anti-COVID-19

- Une propriété neuroprotectrice (Fisétine) : La fisétine contribue à la différenciation des cellules nerveuses et les protège de la mort cellulaire.

- Activité antioxydante et un rôle dans la protection de l'ADN contre le stress oxydatif : Ils préviennent les dommages à l'ADN nucléaire causés par le stress oxydatif chez les plantes.

II.1.3.2.3.3. Flavanones

II.1.3.2.3.3.1. Définition

Les flavanones constituent une autre classe importante de flavonoïdes, généralement présente dans tous les agrumes tels que les oranges, les citrons et les raisins. L'hespérétine, la naringénine et l'ériodictyol sont des exemples de cette classe de flavonoïdes. Les flavanones sont associées à de nombreux bienfaits pour la santé en raison de leurs propriétés antioxydantes. Certains flavanones contribuent à l'amertume des agrumes. Les flavanones, également appelées dihydroflavones, possèdent un cycle C saturé ; par conséquent, contrairement aux flavones, la double liaison entre les positions C2 et C3 est saturée, et ceci constitue la seule différence structurale entre ces deux sous-groupes de flavonoïdes. Au cours des dernières années, le nombre de flavanones identifiées a considérablement augmenté (Panche, 2016).

II.1.3.2.3.3.2. Rôle des flavanones

Les flavonoïdes d'agrumes exercent des effets pharmacologiques intéressants en tant qu'agents (Panche, 2016 ; Abou Baker, 2022) :

- ✓ Antioxydants : L'ériocitrine réduit le stress oxydatif en piégeant et neutralisant les radicaux libres.
- ✓ Neuroprotecteurs (Hespéridine) : L'hespéridine favorise la différenciation neurale et diminue les plaques β -amyloïdes.
- ✓ Antiviraux (SARS-CoV-2) : La naringine et la naringénine ciblent la protéase virale et le récepteur d'entrée ACE-2.
- ✓ Anti-inflammatoires : L'hespéridine exerce une activité anti-inflammatoire remarquable grâce à leur capacité à inhiber la production des médiateurs pro-inflammatoires tels que les cytokines, et réduit l'activation du facteur nucléaire NF- κ B ce qui diminue les réactions inflammatoires. Elles réduisent également le stress oxydatif associé aux réactions inflammatoires chroniques.
- ✓ Hypolipémiants : La naringénine contribue à la réduction des triglycérides et améliore le métabolisme des lipides plasmatiques.
- ✓ Hypocholestérolémiants : L'hespérétine diminue le taux du cholestérol LDL (« mauvais cholestérol ») en régulant le métabolisme hépatique des lipides.

II.1.3.2.3.4. Flavanols (Flavan-3-ols)

II.1.3.2.3.4.1. Définition

Les flavanols, également connus sous les noms de dihydroflavonols/catéchines, sont les dérivés 3-hydroxy des flavanones et constituent des nutriments d'origine végétale naturellement présents en raison de leurs propriétés antioxydantes. Les flavanols sont également appelés flavan-3-ols, car le groupe hydroxyle est toujours lié à la position 3 du cycle C. Contrairement aux autres flavonoïdes, les flavanols n'ont pas de double liaison entre les positions C2' et C3' du cycle C. Les flavanols sont abondants dans de nombreux fruits, tels que les bananes, les pommes, les myrtilles et les poires, et ils sont divisés en plusieurs types : catéchine, gallocatéchine, catéchine-3-gallate, gallocatéchine-3-gallate, épicatechine, épicatechine-3-gallate et épicatechine-3-gallate. Les flavanols et leurs métabolites jouent un rôle important dans les réponses des plantes à divers stress en raison de leurs puissantes activités antioxydantes et de piégeage des radicaux libres (Zhuang .2023).

II.1.3.2.3.4.2. Rôle des flavanols (Flavan-3-ols)

Les flavanols jouent un rôle dans :

- La régulation cellulaire : Ils interviennent dans la régulation des lymphocytes et le traitement cellulaire (Al-Khayri *et al.*, 2022).
- L'effet anticancéreux (Catéchine) : La catéchine module l'expression des facteurs liés au carcinome hépatique (Abou Baker, 2022).
- L'actions antimicrobienne et antifongique : Ils inhibent l'ADN gyrase et réduisent l'expression des gènes spécifiques à la croissance fongique (Abou Baker, 2022 ; Yunusoğlu *et al.*, 2025).

II.1.3.2.3.5. Isoflavones

II.1.3.2.3.5.1. Définition

Les isoflavones contiennent un cycle C avec un cycle B en position 3, ce qui constitue la seule différence chimique structurale par rapport aux autres flavonoïdes. Les isoflavonoïdes sont principalement distribués chez les plantes légumineuses et jouent des rôles importants dans la signalisation microbienne et l'induction de nodosités chez les légumineuses. Les isoflavones peuvent être divisées en deux groupes, la génistéine et la daidzéine, qui existent sous les formes chimiques d'aglycone, de 7-O-glucoside, de 6'-O-acétylglucoside et de 6'-O-malonylglucoside. Les isoflavones possèdent de fortes propriétés

antioxydantes, qui peuvent réduire les dommages causés par les radicaux libres aux cellules végétales et améliorer leur résistance aux rayonnements UV-B, au stress salin et au stress osmotique (Zhuang *et al.*, 2023).

II.1.3.2.3.5.2. Rôle des isoflavones

Les isoflavones possèdent plusieurs activités biologiques importantes, notamment des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et phyto-oestrogéniques, et un rôle protecteur contre diverses maladies.

- Troubles multisystémiques : Les isoflavones sont liées à la régulation des désordres cellulaires complexes (Al-Khayri *et al.*, 2022).
- Obésité et adipogenèse : La génistéine possède des propriétés anti-obésité via l'activation de l'AMPK.
- Immunosuppression : Elle exerce des effets suppressifs sur les composants du système immunitaire adaptatif (Abou Baker, 2022).

II.1.3.2.3.6. Anthocyanidines

II.1.3.2.3.6.1. Définition

Les anthocyanidines sont des pigments responsables des couleurs des plantes, des fleurs et des fruits. La cyanidine, la delphinidine, la malvidine, la pélagonidine et la péonidine sont les anthocyanidines les plus couramment étudiées. Elles se trouvent principalement dans les couches cellulaires externes de divers fruits tels que les canneberges, les cassis, les raisins rouges, les raisins merlot, les framboises, les fraises, les myrtilles, les airelles. La stabilité associée aux bienfaits pour la santé de ces composés favorise leur utilisation dans l'industrie alimentaire dans diverses applications. La couleur de l'anthocyanidine dépend du pH ainsi que de la méthylation ou de l'acylation des groupes hydroxyle sur les cycles A et B (Zhuang, 2023).

II.1.3.2.3.6.2. Rôle des anthocyanidines

Les anthocyanidines possèdent plusieurs activités biologiques importantes, notamment des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. La cyanidine, l'une des principales anthocyanidines, exerce un effet protecteur au niveau rétinien en modulant le rapport BAX/BCL-2, contribuant ainsi à la réduction de l'apoptose cellulaire. Par ailleurs, elle présente une activité anti-inflammatoire en inhibant la liaison de l'interleukine-17A (IL-17A), ce qui permet d'atténuer les réactions inflammatoires (Abou Baker, 2022).

Tableau 01: Structures des principaux groupes de flavonoïdes (adapté de Kumar & Pandey, 2013).

Group flavanoid	Structure	Examples		
Flavones				
Flavonols				
Flavanones				
Flavanonol				
Isoflavones				
Flavan-3-ols				

II.1.3.3. Tanins

II.1.3.3.1. Définition

Les tanins constituent une classe majeure de composés polyphénoliques localisés principalement dans les vacuoles. Il s'agit de substances phénoliques présentant une masse moléculaire comprise entre 500 et 3000 Da, qui, en plus des réactions classiques des phénols, possèdent la capacité de précipiter les alcaloïdes, la gélatine ainsi que d'autres protéines. Sur le plan structural, on distingue les tanins hydrolysables (**figure 05**), correspondant à des esters d'acides phénoliques, des tanins condensés, qui sont des polymères de polyhydroxyflavan-3-ols (**Sahli, 2017**).

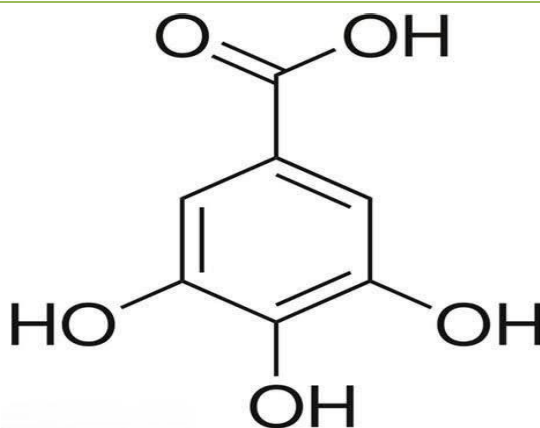


Figure 05. Structure d'acide gallique : unité de base des tanins hydrolysables (Rira, 2019).

II.1.3.3.2. Rôle des Tanins

Ils présentent la capacité de tanner la peau, la rendant ainsi imputrescible, une propriété qui résulte de leur aptitude à se lier aux macromolécules telles que les protéines. Ils peuvent également interagir avec d'autres polymères comme la cellulose et les pectines, formant des composés de haut poids moléculaire à caractère astringent, utilisés en thérapeutique comme agents de protection gastrique et intestinale (Ibingou Dibala, 2017).

II.1.3.4. Coumarines

II.1.3.4.1. Définition

Les coumarines sont des composés naturels caractérisés par une structure à neuf atomes de carbone, portant un noyau benzo (2 H)-1 pyrannone-2. Elles proviendraient de la cyclisation de l'acide cis-cinnamique oxydé en position C-2 (**figure 06**). Leur nom dérive de « kumarú », appellation locale de la fève tonka, *Coumarouna odorata*, également désignée sous le nom de *Dipteryx odorata* Willd. Répandues de manière très large dans le règne végétal, ces molécules et leurs dérivés dont on recense plus de 300 structure différente, se retrouvent dans neuf familles de Monocotylédones et plus de 70 familles de Dicotylédones (Benzineb, 2020).

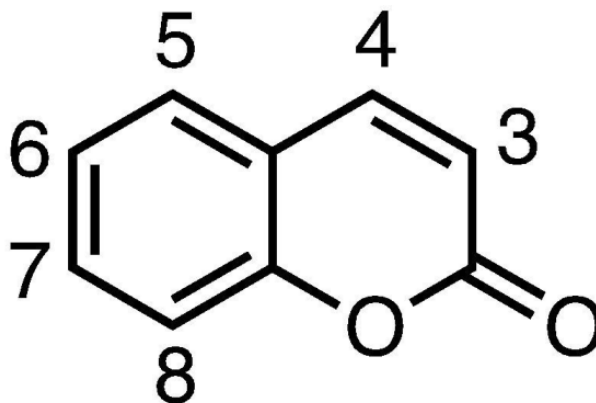


Figure 06. Structure de base des coumarines (Sierra, 2022)

II.1.3.4.2. Rôle des coumarines

Les coumarines sont employées en raison de leurs effets vasculoprotecteurs, neurosédatifs, diurétiques, gastriques et antifatulents. Elles peuvent neutraliser les radicaux hydroxyles, les superoxydes et les peroxydes, tout en empêchant la peroxydation des lipides présents dans les membranes cellulaires (**Benhammou, 2012**).

II.2. Alcaloïdes

II.2.1. Définition

Les alcaloïdes sont des substances naturelles et organiques provenant essentiellement des plantes et qui contiennent au moins un atome d'azote dans leur structure chimique, avec un degré variable de caractère basique. Ils sont synthétisés à partir des acides aminés tels que la lysine, l'ornithine, la tyrosine et le tryptophane. Quelques structures sont relativement simples, tandis que d'autres sont tout à fait complexes (**Guergour, 2018**).

II.2.2. Rôle biologique des Alcaloïdes

La production et l'accumulation d'une grande diversité d'alcaloïdes chez les plantes, les micro-organismes et les animaux répondent à des fonctions biologiques spécifiques. Chez les plantes, ces métabolites secondaires jouent un rôle essentiel en tant qu'agents de défense contre les champignons pathogènes, les insectes et les herbivores. De plus la protection contre certaines maladies et l'adaptation au stress. Ils peuvent également servir de réserve d'azote nécessaire au développement végétal, intervenir dans la régulation de la croissance en exerçant des effets analogues à ceux des hormones, et contribuer à la protection contre les rayonnements (**Ceccon, 2015**).

II.2.3. Types des alcaloïdes

Les alcaloïdes peuvent être classés en trois catégories principales selon leur structure chimique et leur origine biosynthétique :

II.2.3.1. Alcaloïdes vrais

II.2.3.1.1. Définition

Les alcaloïdes vrais sont des substances d'origine naturelle, à distribution relativement restreinte, caractérisées par une structure azotée complexe dans laquelle **l'atome d'azote** est intégré dans un hétérocycle, et présentant un caractère **basique (figure 07)**. Dans les plantes, ils existent sous forme libre, sous forme de sels ou encore sous forme de N-oxydes. Issus biosynthétiquement **d'acides aminés**, ils possèdent généralement une activité biologique

marquée et constituent la classe la plus abondante des alcaloïdes. Parmi les exemples d'alcaloïdes vrais, on peut également citer l'usambarensine, la morphine, la quinine, la nicotine, la cocaïne et l'atropine (Boughrara, 2016).

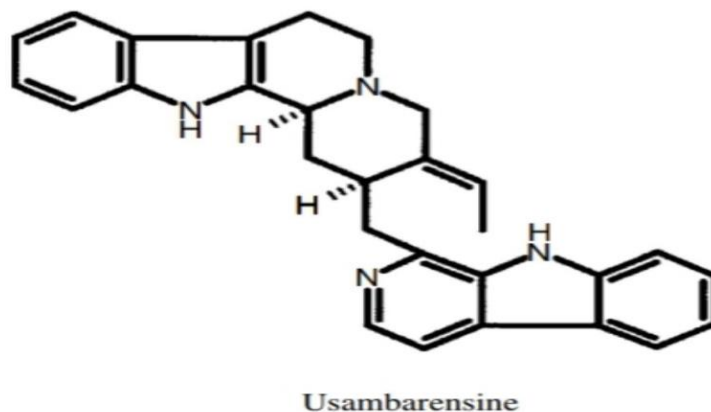


Figure 07. Structure chimique d'alcaloïdes vrais (exemple d'Usambarensine) (Aniszewski, 2007)

II.2.3.1.2. Rôle des alcaloïdes vrais

Les alcaloïdes vrais jouent un rôle important dans le domaine médical grâce à leurs nombreuses activités biologiques et pharmacologiques, notamment ceux de la pervenche tels que la vincristine et la vinblastine, sont utilisés comme agents chimiothérapeutiques dans le traitement de plusieurs types de cancers, en particulier les leucémies, les lymphomes ainsi que les cancers du sein et des testicules. Certains alcaloïdes vrais sont utilisés comme analgésiques (morphine), anesthésique (cocaïne, atropine) stimulants (nicotine) ou antipaludiques (quinine) (Bhambhani *et al.*, 2021).

II.2.3.2. Pseudo-alcaloïdes

II.2.3.2.1. Définition

Les pseudo-alcaloïdes présentent des caractéristiques structurales et chimiques similaires à celles des alcaloïdes vrais, mais s'en distinguent par leur origine biosynthétique, car ils ne dérivent pas directement des acides aminés. Ils proviennent principalement des terpènes ou des stéroïdes, auxquels un atome d'azote est ajouté au cours de la biosynthèse. Cette classe comprend notamment les alcaloïdes stéroïdiens, les purines ainsi que les alcaloïdes d'origine isoprénoïde (terpénique), tels que l'aconitine (diterpénique) issue de l'aconit, et la coniine provenant de la ciguë (Boughrara, 2016) (figure 08).

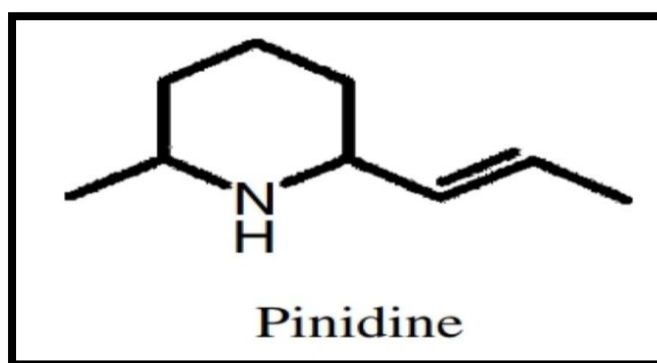


Figure 08. Exemple de pseudo-alcaloïdes (Aniszewski, 2007)

II.2.3.2.2. Rôle des pseudo-alcaloïdes

Les pseudo-alcaloïdes jouent un rôle important dans le domaine pharmaceutique, où ils sont utilisés dans les systèmes de médecine traditionnelle et moderne pour le traitement de nombreuses maladies grâce à leurs diverses propriétés thérapeutiques (Aniszewski, 2007).

II.2.3.3. Proto-alcaloïdes

II.2.3.3.1. Définition

Il s'agit d'amines simples dont l'atome d'azote n'est pas inclus dans un système hétérocyclique. Bien qu'ils soient basiques et biosynthétisés *in vivo* à partir d'acides aminés, leur structure reste plus simple que celle des alcaloïdes vrais. La mescaline (figure 09), extraite du peyotl, en constitue un exemple représentatif. Ces composés sont souvent désignés sous le terme « amines biologiques » et se distinguent par leur bonne solubilité dans l'eau (Boughrara, 2016).

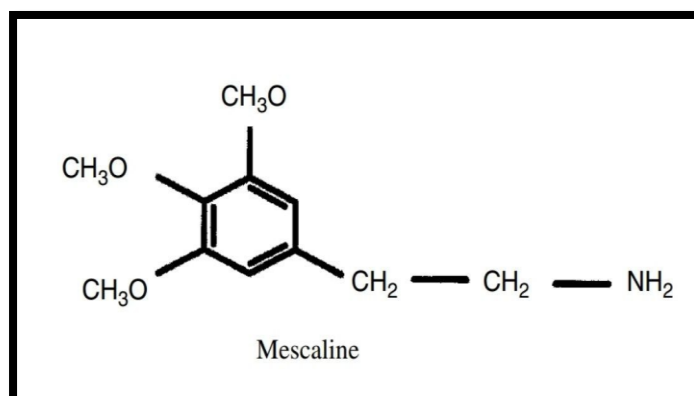


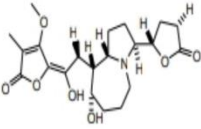
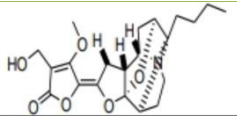
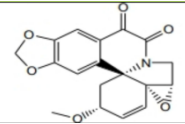
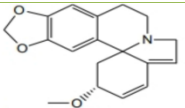
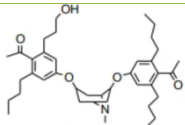
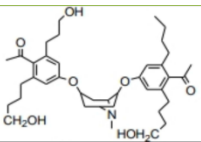
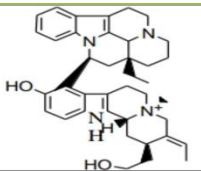
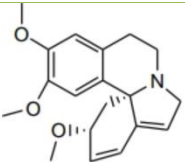
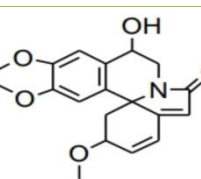
Figure 09. Exemple de proto-alcaloïdes (Mescaline) (Aniszewski, 2007)

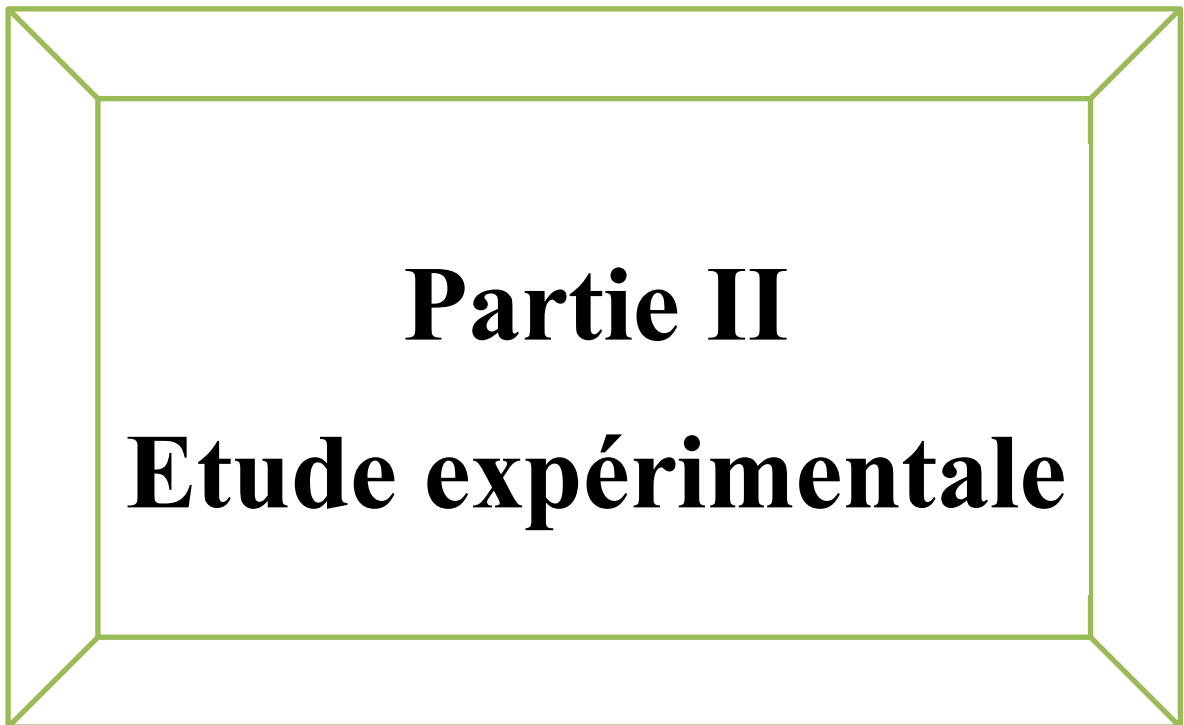
II.2.3.3.2. Rôle des proto-alcaloïdes

Certains proto-alcaloïdes jouent un rôle important dans la médecine traditionnelle, où des plantes qui en contiennent ont été utilisées en Afrique de l'Est et du Sud pour le traitement

des troubles mentaux, ainsi qu’occasionnellement pour soulager la douleur et les névralgies (Aniszewski, 2007).

Tableau 02: Exemples des alcaloïdes ayant une propriété biologique (Benras, 2024)

Alcaloïde	Structure	Plante d'origine	Propriétés biologiques
13-dimethoxy-11(S*),12(R*) - dihydroprotostemonine		<i>Stemona japonica</i> (Stemonaceae)	Insecticidal
16-hydroxystemofoline		<i>Stemona japonica</i> (Stemonaceae)	—
10,11-dioxo-6,7α-erythraline epoxide		<i>Erythrina corallodendron</i>	Neurodegenerative diseases
Erythralin		<i>Erythrina corallodendron</i>	Neurodegenerative diseases
8-oxo-erythraline		<i>Erythrina corallodendron</i>	Neurodegenerative diseases
Hypocretine (2 compounds)		<i>Rivea hypocateriformis</i>	Antihemolytic
Bisindole alkaloids (bisnicalaterines)		<i>Hunteria zeylanica</i>	Vasorelaxant activity
Erysotrine		<i>Erythrina speciosa</i>	—
Hydroxyerysotramidine		<i>Erythrina speciosa</i>	—



Partie II

Etude expérimentale

Chapitre I

Matériels et Méthodes



I. Matériels et Méthodes

L'ensemble de ce travail a été réalisé aux laboratoires de toxicologie, biochimie et microbiologie du département de biologie Cellulaire et Moléculaire l'Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

I.1. Récolte de l'espèce végétale étudiée

Cette étude porte sur une espèce végétale appartenant à la famille des Juncaceae, à savoir *Juncus effusus*, reconnue pour son potentiel dans le domaine de la phytoremédiation et de l'épuration des eaux.

Le matériel végétal a été collecté dans la région de Touggourt (Ranou, wilaya de Touggourt, Algérie). L'échantillon utilisé dans cette étude est constitué la partie aérienne de la plante.

Après la récolte, les feuilles ont été soigneusement nettoyées afin d'éliminer la poussière et les impuretés, puis séchées à température ambiante à l'abri de la lumière directe du soleil afin de préserver les composés bioactifs. Elles ont ensuite été broyées afin d'obtenir une poudre fine et homogène, utilisée par la suite dans les différentes opérations d'extraction, ainsi que pour le criblage phytochimique et l'étude des activités antioxydante et antibactérienne

I.2. Préparation de l'extrait aqueux

1. Sécher les feuilles à température ambiante à l'abri de la lumière directe du soleil, puis les broyer afin d'obtenir une poudre fine.
2. Peser 10 g de poudre végétale et les mélanger à 100 mL d'eau distillée (rapport poids/volume de 1 :10).
3. Chauffer le mélange jusqu'à ébullition, puis maintenir l'ébullition pendant 10 à 15 minutes sous agitation continue.
4. Laisser refroidir l'extrait à température ambiante.
5. Filtrer l'extrait à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1.
6. Sécher le filtrat:
 - Soit par évaporation au bain-marie à 40–45 °C ;
 - Soit par lyophilisation si cette technique est disponible.

7. Conserver l'extrait sec dans des récipients hermétiques à 4 °C jusqu'à son utilisation.

I.3. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction correspond au rapport entre la masse de l'extrait obtenu et la masse de la matière végétale utilisée (Carré, 1953). Il est exprimé en pourcentage (%) et calculé selon la formule suivante :

$$R\% = \frac{(\text{Masse du Résidu Extrait})}{(\text{Masse Initiale Végétale})} \times 100$$

I.4. Etude des paramètres phytochimiques

I.4.1. Analyse qualitative

Un criblage phytochimique a été réalisé afin d'identifier les différentes classes de molécules bioactives dans nos extraits préparés par décoction, en utilisant des méthodes basées sur des changements colorimétriques dans le mélange réactionnel ou sur la formation de précipité, comme décrit par Sharma *et al.* (2020) ; Sindhu *et al.* (2021) ; Laib (2023) ; Mouffouk *et al.* (2023).

Le résidu sec a été reconstitué dans de l'éthanol à 70 % à une concentration de 10 mg/mL avant la réalisation des tests phytochimiques (10 mg d'extrait sec dans 1 mL d'éthanol).

I.4.1.1. Test des polyphénols

2ml d'extrait ont été traités avec quelques gouttes d'une solution de FeCl₃ à 2 % (p/p). La présence de dérivés polyphénoliques est indiquée par une coloration verdâtre ou bleu -noir.

I.4.1.2. Test des tanins

2 mL d'extrait dilué (1ml de l'extrait + 1ml ethanol) ont été combinés avec 1 mL d'une solution de chlorure ferrique à 1 % (FeCl₃ à 1 %). Après agitation, l'apparition d'une teinte verdâtre ou bleuâtre indique la présence de tanins.

I.4.1.3. Test des stéroïdes

2 mL d'extrait ont été mélangés à 2 mL de chloroforme et 500 µL d'anhydride acétique. Ensuite, 3 gouttes (≈ 0,15 mL) d'acide sulfurique concentré ont été ajoutées délicatement. Après agitation, l'apparition d'une coloration bleue ou bleu-vert indique la

présence de stéroïdes.

I.4.1.4. Test des flavonoïdes

5 mL d'extrait ont été mélangés à une proportion équivalente de 5 mL d'ammoniaque diluée (1% = 0.20ml ammoniaque + 4.8 ml eau distillée) et 1 mL d' H_2SO_4 . La présence de flavonoïdes est révélée par l'apparition d'une coloration jaune

I.4.1.5. Test des triterpénoïdes

5 mL d'extrait de plante ont été combinés avec 2 mL de chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique concentré. La présence de triterpénoïdes produit une teinte brun-rouge.

I.4.1.6. Test des saponines

1 mL de décoction (évaporé pour éliminer l'éthanol) a été mélangé à 4 mL d'eau distillée. Le mélange préparé a été agité dans une éprouvette graduée pendant 15 minutes. La persistance d'une mousse stable après agitation indique la présence de saponines.

I.4.1.7. Test des alcaloïdes

1 mL d'extrait a été acidifié légèrement avec HCl 1 % (1 goutte) puis 0,15 mL de réactif de Dragendorff a été ajouté. La formation d'un précipité rouge-orange indique la présence d'alcaloïdes.

I.4.1.8. Test des sucres réducteurs

À 0,5 mL d'extrait de plante (évaporé pour éliminer l'éthanol) on ajoute 1 mL d'eau et 5-8 gouttes de solution de Fehling, puis on chauffe à 70°C pendant 2 minutes. La formation d'un précipité rouge brique signale la présence de sucres réducteurs.

I.5. Analyse quantitative

I.5.1. Dosage des composés phénoliques

• Principe

Le dosage des polyphénols se fait avec le réactif de Folin-Ciocalteu (**Singleton & Rossi, 1965**), qui en milieu alcalin se réduit en oxyde de tungstène et de molybdène donnant une couleur bleue en présence de polyphénols. Le réactif FCR, constitué par un mélange d'acidephosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$), est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en mélange d'oxydes de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}). La coloration bleue produite est proportionnelle à la teneur en phénols totaux et possède une absorption maximum aux environs de 750-765 nm.

• **Mode opératoire**

Préparation de la gamme d'étalon de l'acide gallique

➤ **Préparation de la solution S1 :**

On prend 2 mg de l'acide gallique et on le dissout dans 2 mL d'eau distillé pour obtenir la solution **S1** (2mg/2mL) (**Tableau3**).

Tableau 03:Préparation de la solution S1.

Tube/Concentration (µg/mL)	A1 (50)	A2 (100)	A3 (200)	A4 (300)	A5 (400)	A6 (500)
Solution S1 (mL)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Eau distillé (mL)	0.95	0.90	0.8	0.7	0.6	0.5

➤ **Préparation de Na₂CO₃ de 2 à 7% (Carbonate de sodium)**

Pour 2% on dissout 2 grammes de Na₂CO₃ (Carbonate de sodium) dans 100 ml d'eau distillé pour obtenir la solution S2.

➤ **Préparation de l'extrait de plante**

Une masse de 1 milligramme d'extrait est dissoute dans un volume de 1mL d'eau distillé pour obtenir la solution S3.

➤ **Procédure**

a) Pour l'extrait

125 µL (S3 solution d'extrait de plante) + 500 µL d'eau distillé + 125 µL de FCR + attendre 3 mn + 1250 µL (S2 de carbonate de sodium Na₂CO₃) + 1 mL d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm.

b) Pour l'étalon de l'acide gallique

Les procédures de la préparation de la gamme d'étalonnage de l'acide gallique sont résumées dans le **tableau 04**.

Tableau 04 : Gamme d'étalonnage de l'acide gallique

Tubes						
125 μL	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Eau distillé (μL)	500	500	500	500	500	500
FCR (μL)	125	125	125	125	125	125
Attendre 3 mn						
S2 (μL)	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Eau distillé (mL)	1	1	1	1	1	1
Mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn						
Lecture à 760 nm						

I.5.2. Dosage des flavonoïdes

- **Principe de la réaction**

La concentration des flavonoïdes dans les extraits est basée sur la complexation avec Al^{+3} et les résultats sont exprimés en équivalents de Quercetine (*Türkoğlu et al., 2007*)

- **Préparation de 1 M Potassium acétate (CH_3COOK) :**

Pour 1M Potassium acétate (CH_3COOK) on dissout 9,80g de (CH_3COOK) dans 100 mL d'eau distillé pour obtenir la solution **S1**.

- **Préparation de l'extrait de plante :**

Une masse de 1mg d'extrait est dissoute dans un volume de 1 mL de méthanol pour obtenir la solution **S2**.

- **Mode opératoire**

A. Pour l'extrait

250 μL (S2) (extrait de plante) + 2550 μL (MeOH) + 100 μL (S1) (CH_3COOK) + 100 μL ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) + attendre 40 mn + lecture à 415 nm.

B. Pour l'étalon

- **Préparation de la gamme d'étalon de la Quercetine**

On prend 12,6 mg de la Quercetine et on le dissout dans 25 mL de méthanol pour obtenir la solution **S3**. Les étapes de la réalisation de la gamme d'étalon de Quercetine

comme suivant (**Tableau 5**).

Tableau 05: Gamme d'étalonnage de la Quercetine.

Concentration (µg/mL)	0	25	50	75	100	125	150	175	200
MeOH (µL)	4800	4775	4750	4725	4700	4675	4650	4625	4600
S3 (µL)	0	25	50	75	100	125	150	175	200
S1 (µL)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Nitrate d'aluminium (µL)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

I.6. Analyse microbiologique des eaux usées

I.6.1. Site de prélèvement et échantillonnage

L'étude a été réalisée sur trois échantillons d'eaux usées (SM1, SM2 et SM3) prélevés aseptiquement à partir de différents points d'une station de traitement des eaux (ONA El-Oued) située dans la région d'El Oued (Algérie). Les prélèvements ont été effectués dans des conditions stériles afin d'éviter toute contamination externe.

I.6.2. Transport des échantillons

Les échantillons ont été immédiatement transportés au laboratoire de Djihad Learning Bio and health dans des conditions appropriées (température contrôlée) afin de préserver leur intégrité microbiologique. Les analyses ont été effectuées dans les plus brefs délais après réception.

I.6.3. Dénombrement microbiologique

Le dénombrement bactérien a été réalisé selon deux paramètres principaux :

- La flore bactérienne totale (germes aérobies mésophiles)
- Les bactéries coliformes, utilisées comme indicateurs de contamination fécale

Cette étape a été réalisée par la méthode des dilutions décimales successives suivie d'un ensemencement par étalement sur milieux gélosés.

I.6.4. Milieux de culture utilisés

Différents milieux de culture ont été utilisés afin de permettre l'isolement et la différenciation des microorganismes :

- **Gélose nutritive** : dénombrement de la flore bactérienne totale
- **Gélose au sang** : culture de bactéries exigeantes et mise en évidence de l'hémolyse
- **Gélose Hektoen** : isolement des entérobactéries pathogènes (Salmonella, Shigella)
- **Chromagar** : différenciation bactérienne selon des activités enzymatiques spécifiques
- **Gélose Sabouraud** : isolement des levures et moisissures

I.6.5. Incubation et observation macroscopique

Les boîtes de Pétri ont été incubées à 37°C pendant 24 à 48 heures, avec une prolongation jusqu'à 72 heures pour la gélose Sabouraud si nécessaire.

L'observation macroscopique des colonies a été effectuée selon plusieurs critères :

- morphologie
- taille
- pigmentation
- aspect de surface

Les colonies distinctes ont été repiquées afin d'obtenir des cultures pures.

I.6.6. Identification des isolats bactériens

L'identification des souches bactériennes a été réalisée à l'aide du système automatisé **VITEK® 2 Compact (bioMérieux)**.

Deux types de cartes d'identification ont été utilisés :

- ID-GN pour les bactéries Gram négatif
- ID-GP pour les bactéries Gram positif

Cette méthode repose sur l'analyse des profils biochimiques permettant une identification rapide et fiable jusqu'au niveau de l'espèce.

I.6.7. Conservation des isolats

Après identification, les souches bactériennes ont été conservées dans des tubes de stockage appropriés afin de constituer une collection d'isolats. Ces souches ont été utilisées pour des analyses complémentaires, notamment des tests de sensibilité à l'extrait aqueux de

la plante étudiée.

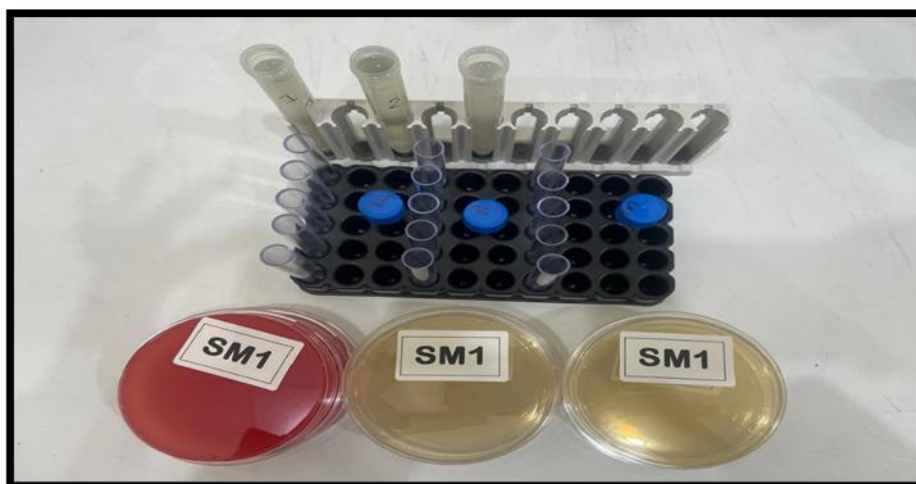


Figure 10. Photographie du dispositif expérimental de culture bactérienne en laboratoire (Photo originale).

I.7. Activité antibactérienne

Les propriétés antimicrobiennes d'extrait aqueux de *J. effusus* ont été évaluées contre quatre souches bactériennes. L'activité antimicrobienne a été déterminée de manière qualitative par la méthode de diffusion sur gélose (Abdulla *et al.*, 2026).

Cette technique repose sur la formation d'une zone d'inhibition autour du disque imprégné d'extrait végétal (Bsaipes *et al.*, 2009).

Les souches bactériennes testées proviennent d'échantillons d'eaux usées prélevés à la station d'épuration ONA El-Oued. Ces échantillons ont été transportés au laboratoire Djihad Learning Bio and health, où des analyses microbiologiques ont permis d'isoler sept souches bactériennes différentes (voir tableau 09 dans les résultats).

Parmi celles-ci, quatre souches ont été retenues pour cette étude en raison de leur pertinence et de leur fréquence : *Escherichia coli* (Gram négatif), *Enterococcus faecalis* (Gram positif), *Staphylococcus hominis* (Gram positif) et *Bacillus subtilis* (Gram positif). Ces souches ont été utilisées pour évaluer l'activité antibactérienne des extraits végétaux étudiés.

➤ Description les souches étudiées

- *Escherichia coli* :

Escherichia coli est un bacille Gram négatif connu pour faire partie de la flore intestinale normale. (Mueller & Tainter, 2023). Certaines souches d'*E. coli* sont inoffensives, mais d'autres peuvent rendre les gens malades. Commensal du tube digestif, cause des infections urinaires, des diarrhées et des septicémies (Kaper *et al.*, 2004).

- *Enterococcus faecalis* :

Enterococcus faecalis est une bactérie à Gram positif, de forme coccoïde, appartenant

au microbiote intestinal humain et animal. Elle est généralement commensale mais peut devenir opportuniste et provoquer des infections nosocomiales (urinaires, sanguines et endocardites) (Archambaud *et al.*, 2024).

- *Staphylococcus hominis* :

Staphylococcus hominis est un staphylocoque à Gram positif, à coagulase négative, faisant partie du microbiote normal de la peau humaine. Il peut devenir pathogène opportuniste, surtout chez les patients immunodéprimés ou porteurs de dispositifs médicaux (Becker *et al.*, 2023).

- *Bacillus subtilis* :

Bacillus subtilis est une bactérie à Gram positif en forme de bacille, sporulée, largement présente dans le sol. Elle est non pathogène dans la majorité des cas et constitue un organisme modèle important en microbiologie et en biotechnologie (Stülke *et al.*, 2023).

➤ Préparation des souches

A. Revivification des souches bactériennes

La revivification des souches est une étape indispensable avant leur utilisation, car leur activité biologique est réduite après conservation. Elle vise à obtenir une culture jeune et pure. Cette étape consiste à ensemencer, par la technique des stries, la surface d'une gélose nutritive préalablement coulée et solidifiée dans des boîtes de Pétri, à partir de quelques colonies de souches conservées à 4 °C. Les boîtes sont ensuite incubées à 37 °C pendant 24 heures (Bouchouka, 2016) (figure11).

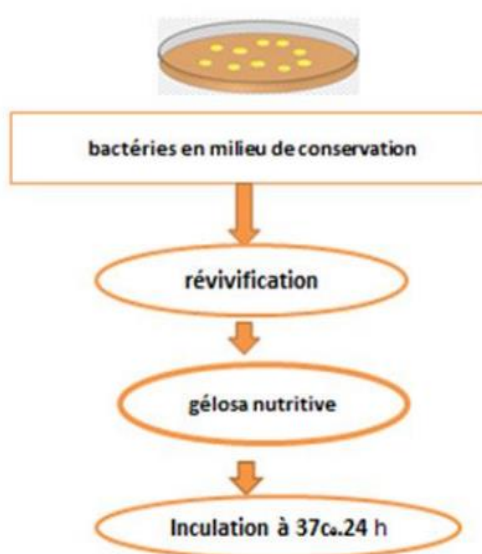


Figure 11. Revivification et culture des souches bactériennes (Bouchouka, 2016)

B. Préparation des disques

Des disques de 6 mm de diamètre sont découpés du papier Wattman N° 3 et stérilisés dans un autoclave pendant 20 min à 120°C (Yin *et al.*, 2013).

C. Préparation des milieux de culture

Le milieu de culture Muller-Hinton a été préparé par dissolution, puis versé dans des boîtes de Petri et laissé refroidir jusqu'à solidification avant l'ensemencement. Cette opération a été réalisée devant une flamme afin de maintenir des conditions aseptiques (Rahal, 2005).

D. Préparation des concentrations

Deux concentrations de l'extrait sec de *Juncus effusus* ont été préparées par dissolution de 100 mg d'extrait sec dans 2 mL d'eau distillée stérile (dose 1 = 50 mg/mL) et de 200 mg dans 2 mL d'eau distillée stérile (dose 2 = 100 mg/mL) (Balouiri *et al.*, 2016).

E. Préparation de l'inoculum

À partir des cultures jeunes préparées, quelques colonies bactériennes sont prélevées et mises en suspension dans environ 10 mL d'eau physiologique stérile à 0,9 %. Les tubes sont ensuite agités au vortex pendant quelques secondes (Reghioua, 2006 ; Ouis, 2015).

F. Ensemencement des souches bactériennes

Un écouvillon stérile est trempé dans la suspension bactérienne de chaque souche, puis la surface du milieu de culture est ensemencée par des stries parallèles et rapprochées. Cette opération est répétée trois fois en tournant la boîte de Petri de 60° à chaque étape afin d'assurer une répartition homogène des bactéries (Dahia, 2009)

I. Dépôt des disques

Après la préparation des milieux de culture et l'ensemencement des souches bactériennes, les disques ont été imprégnés des deux concentrations préparées (10 µL de dose 1/de dose 2), puis déposés sur les boîtes de Petri préparées à raison de trois répétitions pour chaque souche. Un disque contenant l'eau distillée a également été utilisé comme témoin négatif du test.

Les boîtes ont été laissées à proximité d'un bec Bunsen pendant 30 minutes (Belaiche, 1979).

G. Incubation et lecture des résultats

On incube les boîtes de Pétri en position inversée à 37°C pendant 24h, L'efficacité des concentrations a été déterminée par la mesure du diamètre des zones d'inhibitions entourant les disques (**Lahoum *et al.*, 2016**).

Après 24 heures d'incubation, mesurer à l'aide d'une règle graduée le diamètre d'inhibition des bactéries autour des disques. Le diamètre (mm) de la zone entourant le disque est proportionnel à la sensibilité du germe étudié (**Figure12**) (**Chenni, 2016**).

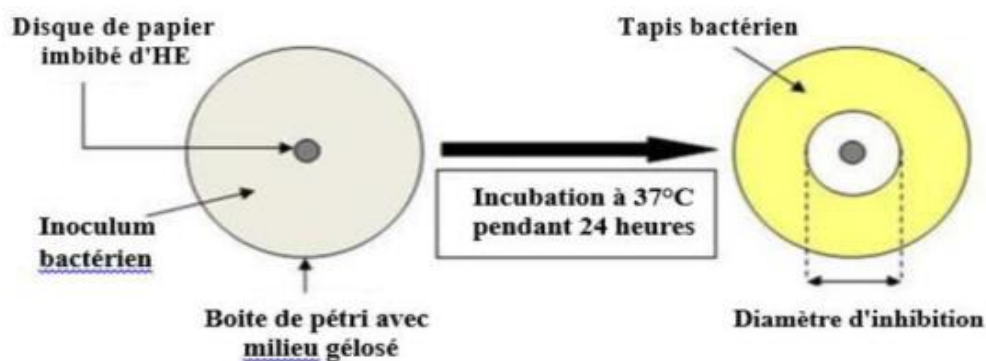


Figure 12.Principe de la méthode de diffusion sur disques (Chenni, 2016).

I.8. Activité antioxydante

C'est l'un des principaux essais employés pour explorer l'utilisation des extraits d'herbe comme antioxydants (**Markowicz *et al.*, 2007**). En présence des piègeurs de radicaux libre. Le diphenylpyryl-hydrazyl (DPPH) de couleur violette se réduit en

2,2 diphenyl 1 picryl hydrazine de couleur jaune (**Maataoui *et al.*, 2006**). Cette capacité de réduction est déterminée par une diminution de l'absorbance induite par des substances anti radicalaires (**Majhenic *et al.*, 2007 ; Chenni, 2016**) (**Figure13**).

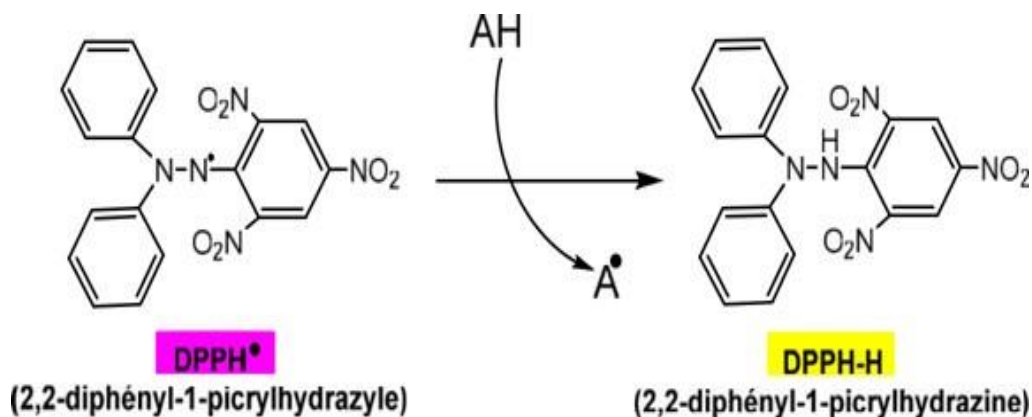


Figure 13. Forme libre et réduite du DPPH (Chenni, 2016).

La solution de DPPH est préparée par solubilisation de 4 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol.

➤ Préparation solution d' extrait

Peser 30mg d' extrait et le dissoudre dans 3ml de méthanol pour obtenir une concentration 10mg /ml, puis appliquer une série de concentration d' extrait sur le DPPH (tableau 06).

Tableau 06: Évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait par le test DPPH.

N° Tube	Concentration (µg/mL)	Volume de l'extrait (µl)	Volume de methanol (µl)
T1	2000	2000 µl de solution mère	00 µl
T2	1000	500µl de T1	500 µl
T3	500	500µl de T2	500 µl
T4	250	500µl de T3	500 µl
T5	125	500µl de T4	500 µl
T6	62.5	500µl de T5	500µl

➤ A chaque 50µl d'extrait, on a ajoutée à Chaque tube 1950 µl de la solution méthanolique et de DPPH.

➤ Préparation d'Acide ascorbique

Peser moins de (1-2 mg) d'acide gallique et le dissoudre dans un double volume d'eau distillé afin d'obtenir une concentration de 0,5 µl/ml (tableau 07) (Chamsa, 2015 avec modification).

Tableau 07:Évaluation de l'activité antioxydante de l'acide ascorbique par le test DPPH

N° Tube	Concentration µg/ml	Volume d'acide ascorbique (solution mère)	Volume de methanol
A1	100	100 µl de solution mère	900 µl
A2	50	500 de A1	500 µl
A3	25	500 µl de A2	500 µl
A4	12.5	500µl de A3	500 µl
A5	6.25	500µl de A4	500 µl
A6	3.12	500µl de A5	500 µl
A7	1.56	500µl de A6	500 µl
A8	0.78	500µl de A7	500 µl

L'absorbance par spectrophotométrie UV-Vis à été lues à 517 nm après 30 min de temps d'incubation à température ambiante. L'absorbance d'un échantillon blanc contenant la même quantité de méthanol et de solution de DPPH dans les mêmes conditions opératoires a

été faite. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition du radical DPPH qui à été calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = ((A0 - A1)/A0) \times 100$$

A0 : L'absorbance de contrôle

A1 : L'absorbance d'échantillon

Le pourcentage d'inhibition a été exprimé en fonction de la teneur en composés phénoliques. La concentration inhibitrice à 50 % du radical DPPH (CI₅₀) a été déterminée. La CI₅₀ est calculée à partir de l'équation de régression obtenue en représentant le pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration de l'extrait et de l'acide ascorbique.

Chapitre II

Résultats et discussion



II. Résultats et discussion

II.1. Détermination du rendement

Le rendement de l'extraction a été déterminé en calculant le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu et la masse du matériel végétal utilisé pour l'extraction. Le rendement est exprimé en pourcentage. Les résultats de l'extraction par décoction de la plante entière de *Juncus effusus* ont révélé un rendement de 4 % à partir de 148 g de matière végétale sèche. L'extrait obtenu se présentait sous forme liquide avec une coloration brunâtre.

Notre résultat est inférieur à ceux rapportés par **Ho et al. (2012)**, **Nishimura et al. (2016)** et **Park et al. (2016)** sur *Juncus effusus* var. *decipiens*, qui ont respectivement obtenu des rendements de 13,04 % (extrait aqueux), 6,44 % (extrait à l'eau chaude) et 7,2 % (extrait éthanolique), mais supérieur à celui rapporté par **Thuerig et al. (2016)** pour *Juncus effusus*, qui ont obtenu un rendement de 0,5 % avec l'acétate d'éthyle à partir de la moelle de la plante.

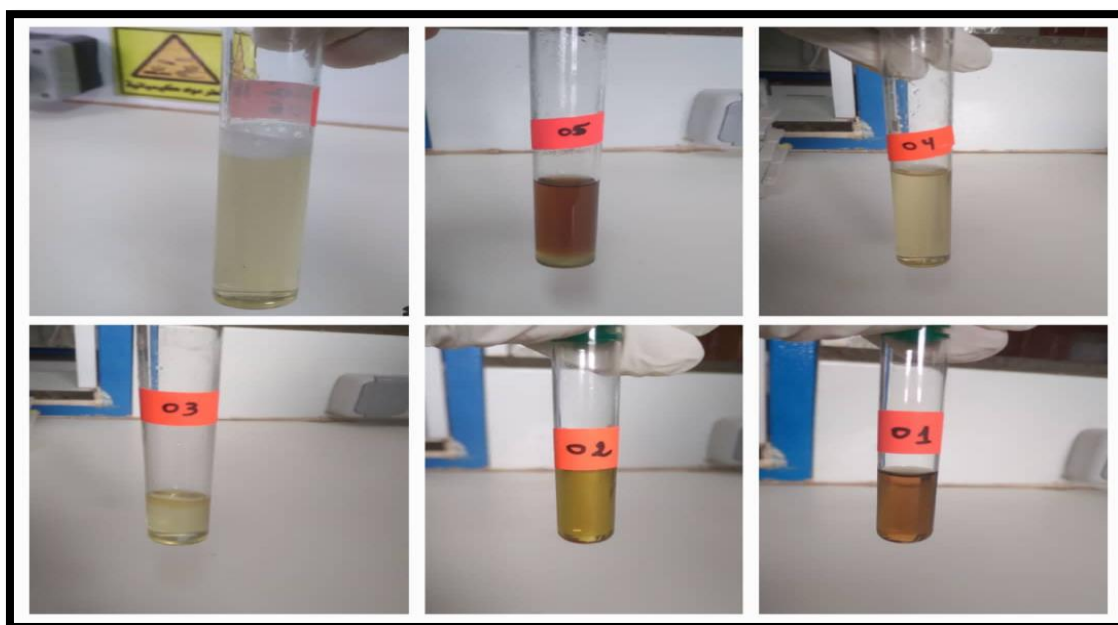
Cette différence peut s'expliquer par plusieurs facteurs : la méthode d'extraction (décoction aqueuse, solvant organique), la période de récolte, la localisation géographique, ainsi que les conditions de séchage et de stockage. Des études récentes ont montré que la durée et la température de séchage influencent significativement la quantité de matière extractible, en raison de la dégradation possible des composés thermosensibles (**Azwanida, 2015**). De plus, **Tonzibo et al. (2000)** ont noté que les pertes par évaporation lors de la décoction peuvent réduire le rendement final.

II.2. Analyse qualitative

Les résultats présentés dans le tableau et la figure ci-dessous ont été obtenus à la suite de tests phytochimiques réalisés sur l'extrait, conformément au protocole expérimental décrit précédemment. Les observations ont été interprétées selon les critères suivants : absence (–) et présence (+) des composés recherchés.

Tableau 08: Résultats des analyses phytochimiques qualitative d'extrait de *J. effusus*.

Test (composé recherché)	Observation	Résultat
Polyphénols	Coloration verdâtre ou bleu-noir	+
Tanin	Teinte verdâtre ou bleuâtre	+
Flavonoïdes	Coloration jaune	+
Stéroïdes	Teinte bleue	-
Triterpénoïdes	Teinte brun-rouge	+
Saponines	Observation de mousse	+
Alcaloïdes	Précipité rouge-orange	+
Sucres réducteurs	Précipité rouge brique	-

Figure 14. Observation des réactions colorimétriques du criblage qualitative phytochimique d'extrait de *J. effusus* (Photo originale).

Les résultats du screening phytochimique révèlent que l'extrait étudié est particulièrement riche en métabolites secondaires, notamment en composés phénoliques tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, ainsi qu'en saponines. La présence des alcaloïdes et des triterpénoïdes témoigne également d'une grande diversité chimique au sein de l'échantillon analysé. En revanche, l'absence des stéroïdes et des sucres réducteurs suggère une composition chimique spécifique, influencée à la fois par la nature botanique de la plante et par les conditions d'extraction utilisées.

Ces résultats sont en accord avec plusieurs études antérieures réalisées sur des espèces appartenant à la famille des Juncaceae, connue pour sa richesse en composés phénoliques et flavonoïdiques. Ces métabolites secondaires sont largement associés à diverses activités

biologiques, notamment les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, ce qui confère un intérêt pharmacologique important à ces espèces végétales.

La présence des flavonoïdes dans l'extrait étudié confirme ces observations et renforce l'hypothèse selon laquelle ces composés jouent un rôle central dans les activités biologiques potentielles de la plante. Ces résultats concordent avec ceux de **Remadna (2019)** sur *Juncus maritimus*, où la présence des flavonoïdes a été rapportée dans l'extrait brut ainsi que dans l'extrait à l'acétate d'éthyle. De même, **Adouni et al. (2018)** ont mis en évidence la présence des composés phénoliques chez *Juncus acutus*, confirmant ainsi la richesse de ce genre en métabolites bioactifs. **Daira et al. (2016)** ont d'ailleurs souligné que le profil phytochimique peut varier selon la zone d'échantillonnage.

Par ailleurs, la présence des alcaloïdes a été observée dans l'extrait analysé. Des résultats similaires ont été rapportés chez *Capsicum frutescens*, où ces composés sont associés à une activité biologique marquée, notamment une toxicité contre *Bemisia tabaci* (**Boucheita et al., 2005**), ce qui suggère un potentiel bioactif important des alcaloïdes présents.

La présence des saponines pourrait également contribuer aux propriétés biologiques de la plante, ces composés étant fréquemment associés à des activités anti-inflammatoires, comme le souligne **Remadna (2019)**.

Enfin, la présence des polyphénols totaux et des tanins observés dans cette étude concorde avec les données de la littérature, notamment celles rapportées chez *Juncus acutus* par **Adouni et al. (2018)** et chez *Juncus maritimus* par **Remadna (2019)**. Ces résultats confirment ainsi que les espèces du genre *Juncus* constituent une source importante de composés phénoliques à potentiel biologique.

Malgré l'absence de certaines classes chimiques, la présence des flavonoïdes, des alcaloïdes, des saponines et des triterpénoïdes confère à cet extrait un intérêt en tant que source naturelle de composés bioactifs. En effet, ces métabolites secondaires sont largement reconnus pour leurs diverses activités biologiques, notamment leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, ainsi que leur implication dans les interactions plante–environnement. Par ailleurs, la présence de ces composés suggère un potentiel d'application de *Juncus effusus* dans des procédés de dépollution et de phytoremédiation, en particulier pour le traitement des eaux contaminées. La phytoremédiation utilisant *Juncus effusus* a été récemment confirmée comme une approche efficace pour l'élimination de polluants organiques dans l'eau, notamment les colorants, grâce à ses capacités d'adsorption et de dégradation (**Urucu et al., 2025**).

II.3. Analyse quantitative

II.3.1. Dosage des polyphénols

La quantification des composés phénoliques totaux de l'extrait aqueux de la plante étudiée (*J. effusus*) a été réalisée à l'aide de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (**Figure15**). La teneur obtenue est exprimée en milligrammes d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES). Les analyses ont été réalisées avec un nombre de répétitions égal à quatre pour l'extrait.

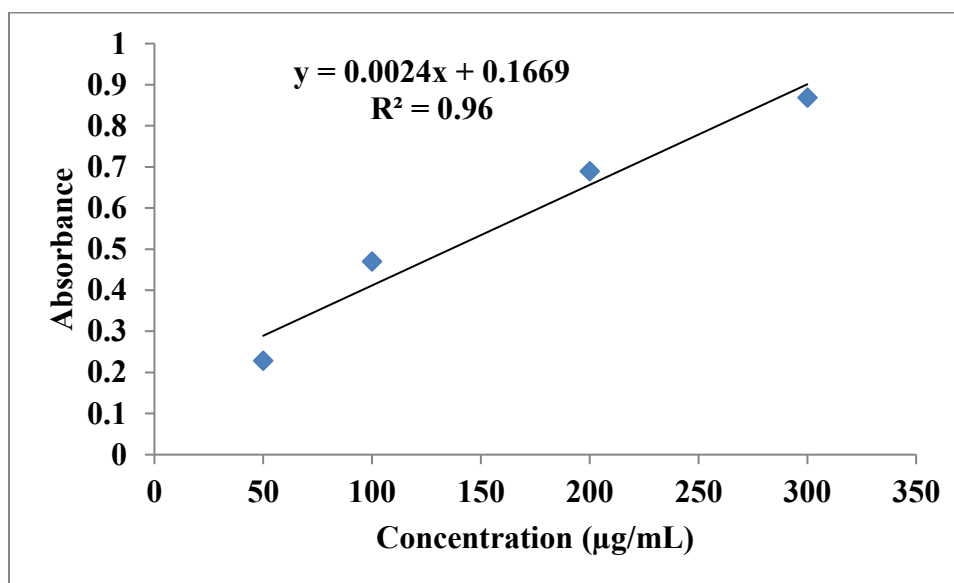


Figure 15. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

Les résultats obtenus indiquent que la plante étudiée présente une teneur moyenne en polyphénols de 80,67 mg EAG/g ES, avec un écart-type de 9,44.

En comparant cette valeur à celles rapportées dans la littérature, notamment l'étude de **Ho et al. (2012)** réalisée sur la même espèce *Juncus effusus* L., il apparaît que notre résultat (80,67 mg/g) est supérieur à celui obtenu pour l'extrait aqueux (37,33 mg/g). Cela suggère une bonne efficacité du système d'extraction utilisé dans la présente étude.

Par ailleurs, ces résultats sont proches de ceux rapportés par **Remadna (2019)** pour *Juncus maritimus*, qui a enregistré une teneur de 80,71 mg/g dans un extrait à l'hexane. En revanche, des différences plus marquées sont observées par rapport à d'autres travaux, notamment ceux de **d'Adouni et al. (2018)** sur *Juncus acutus* (142,21 mg/g). Ces variations peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs influençant la biosynthèse des métabolites secondaires, tels que les conditions climatiques, la nature du sol, la période de récolte, ainsi que la méthode d'extraction utilisée (**Ho et al., 2012 ; Remadna, 2019**).

II.3.2. Dosage des flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes de l'extrait aqueux de *J. effusus* ont été déterminées à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage de la quercétine (**Figure 16**). Les résultats obtenus sont exprimés en milligrammes d'équivalent quercétine par gramme d'extrait sec (mg EQ/g ES), Les analyses ont été réalisées avec un nombre de répétitions égal à cinq pour l'extrait.

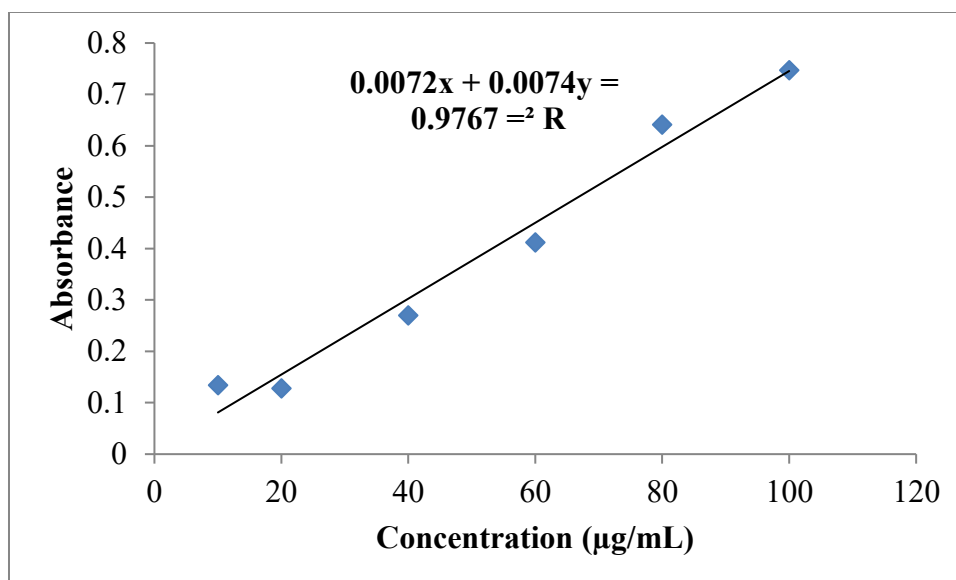


Figure 16. Courbe d'étalonnage de la quercétine

Les résultats obtenus dans la présente étude montrent que *Juncus effusus* récolté présente une teneur moyenne élevée en flavonoïdes totaux, atteignant 78,973 mg/g mg EQ/g ES, avec un écart-type de 2,511. La présence des flavonoïdes a également été confirmée par l'analyse phytochimique qualitative. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles rapportées dans la littérature pour la même espèce ou des espèces proches.

Nishimura et al. (2016) ont en effet trouvé une teneur en flavonoïdes de 27,2 mg EQ/g ES chez *Juncus effusus* var. *decipiens* dans un extrait aqueux. De même, **Huang et al. (2012)** ont enregistré 30,16 mg EQ/g ES dans l'extrait méthanolique et 8,79 mg EQ/g ES dans l'extrait aqueux. Dans une autre étude portant sur *Juncus rigidus*, **Hamza (2020)** a rapporté des teneurs de 2,9 mg EQ/g ES dans une région polluée et 1,6 mg EQ/g ES dans une région témoin.

Par ailleurs, ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus pour les polyphénols totaux dans la même étude, qui ont également montré une teneur élevée. Cette concordance confirme que la plante est particulièrement riche en composés phénoliques, les flavonoïdes constituant une sous-classe importante des polyphénols. Ainsi, l'accumulation simultanée de ces deux familles de métabolites secondaires reflète une forte activité biosynthétique, probablement

liée aux conditions environnementales défavorables. En effet, l'élévation de la température et la diminution des précipitations (stress hydrique) favorisent généralement la synthèse des métabolites secondaires chez les plantes, comme l'a montré **Laftouhi *et al.* (2023)** sur le romarin (*alvia rosmarinus*)

II.4. Analyse microbiologique des eaux usées

L'observation sur milieu ChromAgar a révélé une forte densité de colonies caractéristiques des bactéries coliformes, confirmant la présence d'une contamination d'origine fécale dans les trois échantillons (**tableau09 et figure 17**).

Tableau 09: Souches bactériennes isolées des eaux usées prélevée de la station ONA El-Oued D'El oued.

Micro-organisme identifié	Gram
<i>Escherichia coli</i>	Gram negative
<i>Klebsiella pneumonia</i>	Gram negative
<i>Serratia spp.</i>	Gram negative
<i>Enterococcus faecalis</i>	Gram positif
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gram positif
<i>Staphylococcus hominis</i>	Gram positif
<i>Bacillus subtilis</i>	Gram positif



Figure 17. Photographies représentatives des résultats de culture bactérienne des échantillons d'eau (SM1, SM2, SM3) sur différents milieux gélifiés sélectifs et non sélectifs (Photo originale).

Le dénombrement microbiologique des trois échantillons d'eaux usées (SM1, SM2 et SM3) a été réalisé à la dilution 10^{-3} , révélant une charge bactérienne globalement élevée pour

l'ensemble des échantillons. Cependant, une variation quantitative a été observée entre les différents prélèvements, avec une dominance marquée dans l'échantillon SM2, suivi de SM3 puis de SM1, qui présente la charge la plus faible tout en restant importante (**tableau 10**)

Les concentrations élevées enregistrées, aussi bien pour la flore bactérienne totale que pour les coliformes totaux (de l'ordre de 10^5 UFC/mL), témoignent d'une contamination microbiologique significative des eaux analysées. Ces résultats suggèrent la présence d'une charge organique importante et indiquent une pollution probablement d'origine fécale.

De plus, ces niveaux sont comparables à ceux rapportés dans plusieurs études antérieures sur les eaux usées urbaines et hospitalières, où des concentrations comprises entre 10^4 et 10^6 UFC/mL sont fréquemment observées, traduisant une forte densité microbienne caractéristique des effluents insuffisamment traités ou en cours de traitement biologique (**George et al., 2017 ; Periasamy & Sundaram, 2013 ; WHO, 2021**).

Ces résultats sont également cohérents avec des travaux ayant montré que les eaux usées, en particulier hospitalières, présentent une charge bactérienne élevée, incluant des coliformes utilisés comme indicateurs de contamination fécale et de pollution organique (**García-Muñoz et al., 2017**).

Tableau 10 : Dénombrement de la flore bactérienne totale et des coliformes (dilution 10^{-3})

Echantillon	Flore totale (UFC/mL)	Coliformes totaux (UFC/mL)	Dilution analysée	Milieu de culture	Température
SM1	2.8×10^5	1.6×10^5	10^{-3}	Gélose nutritive / ChromAgar	37°C
SM2	4.9×10^5	3.1×10^5	10^{-3}	Gélose nutritive / ChromAgar	37°C
SM3	3.7×10^5	2.4×10^5	10^{-3}	Gélose nutritive / ChromAgar	37°C

Les bactéries isolées appartiennent à différents groupes microbiens indicateurs de contamination des eaux usées. Les Enterobacteriaceae, notamment *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Serratia* spp., sont des marqueurs de contamination fécale et d'origine anthropique, avec *E. coli* comme biomarqueur principal de pollution fécale (**Banock et al., 2024 ; Santiago et al., 2024**). La présence de bactéries Gram positif telles que *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus hominis* et *Enterococcus faecalis* reflète également une contribution des rejets domestiques et hospitaliers, *E. faecalis* étant un indicateur fiable de contamination persistante (**Santiago et al., 2024**). Enfin, l'isolement de *Bacillus subtilis* met en évidence la diversité microbienne des eaux usées, incluant des bactéries saprophytes environnementales, grâce à leur capacité de survie par sporulation (**Seo et al., 2022**).

La similarité qualitative des bactéries isolées dans les trois échantillons, associée à une variation quantitative, suggère une source de contamination comparable influencée par la charge organique et l'efficacité du traitement. Les stations d'épuration représentent des milieux microbiologiquement complexes abritant des bactéries indicatrices et opportunistes (Lew *et al.*, 2023). La présence simultanée de plusieurs espèces pathogènes met en évidence un risque microbiologique potentiel et souligne le rôle des eaux usées comme réservoir de bactéries pathogènes et résistantes, justifiant un suivi microbiologique rigoureux (Banock *et al.*, 2024 ; Zhao *et al.*, 2024).

Ainsi, l'ensemble des résultats confirme que les échantillons étudiés présentent une contamination bactérienne élevée et diversifiée, cohérente avec les profils microbiologiques décrits dans les études contemporaines sur les eaux usées urbaines, soulignant la nécessité d'un contrôle microbiologique rigoureux pour garantir la sécurité sanitaire et environnementale (tableau 11)

Tableau 11: Identification des bactéries isolées et fréquence relative d'isolement ; Légende fréquence : + Présence faible, ++ présence modérée, +++ présence élevée

Micro-organisme identifié	Gram	Milieu principal	Fréquence SM1	Fréquence SM2	Fréquence SM3	Méthode
<i>Escherichia coli</i>	Gram négatif	ChromAgar	++	+++	+++	VITEK® 2 Compact GN
<i>Klebsiella pneumonia</i>	Gram négatif	Hektoen	+	+++	++	VITEK® 2 Compact GN
<i>Serratia spp.</i>	Gram négatif	Gélose nutritive	+	++	++	VITEK® 2 Compact GN
<i>Enterococcus faecalis</i>	Gram positif	Gélose au sang	+	++	++	VITEK® 2 Compact GP
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gram positif	Gélose au sang	++	+++	++	VITEK® 2 Compact GP
<i>Staphylococcus hominis</i>	Gram positif	Gélose au sang	+	++	++	VITEK® 2 Compact GP
<i>Bacillus subtilis</i>	Gram positif	Gélose nutritive	++	++	+++	VITEK® 2 Compact GP

II.5. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de *Juncus effusus* a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque en milieu gélosé. Cette activité a été déterminée en mesurant le diamètre des zones d'inhibition formées autour des disques imprégnés de l'extrait, testés

contre quatre souches bactériennes pathogènes. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau et la figure ci-dessous.

Tableau 12: Activité antibactérienne d'extrait aqueux de *Juncus effusus* en fonction de la concentration (50-100 mg/mL) et témoin négatif.

		BLANC	DOSE 1 (100mg/mL)	DOSE 2 (50 mg/mL)
<i>Escherichia coli</i>	Diamètre (mm)	0	9	0
	Sig	-	+	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	Diamètre (mm)	0	10	0
	Sig	-	+	-
<i>Staphylococcus hominis</i>	Diamètre (mm)	0	10	0
	Sig	-	+	-
<i>Bacillus subtilis</i>	Diamètre (mm)	0	11	0
	Sig	-	+	-

Sig : signification

- : Absence de sensibilité, + : Sensibilité limitée ++ : Sensibilité modérée +++ : Forte sensibilité.



Figure 18. Evaluation de l'activité antibactérienne d'extrait aqueux de *Juncus effusus* sur les différentes souches bactériennes (Photo originale).

Les résultats du test antibactérien montrent que le témoin négatif (eau distillée) n'a présenté aucune activité inhibitrice (0 mm) contre *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus hominis* et *Escherichia coli*, confirmant l'absence d'effet antibactérien intrinsèque du solvant.

Les résultats obtenus montrent clairement que l'extrait aqueux de *Juncus effusus* exerce une activité antibactérienne sur l'ensemble des souches bactériennes testées. En revanche, le témoin ainsi que la dose 2 (50 mg/mL) n'ont présenté aucun diamètre d'inhibition (0 mm), traduisant une absence totale d'activité antimicrobienne. À l'inverse, la dose 1 (100 mg/mL) a montré des zones d'inhibition comprises entre 9 et 11 mm, indiquant

une sensibilité variable selon les souches bactériennes et une activité antibactérienne limitée à modérée (+). L'augmentation de la concentration de l'extrait s'accompagne donc d'une amélioration de l'activité antibactérienne, mettant en évidence une relation dose–effet positive.

Selon **Al-Ghamdi et al. (2020)**, les activités antimicrobiennes des extraits végétaux sont principalement attribuées à la présence de composés bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes et les saponines. Ces substances bioactives peuvent agir en perturbant l'intégrité de la membrane cellulaire bactérienne ou en inhibant des systèmes enzymatiques essentiels au développement microbien (**Cowan 2020**).

Par ailleurs, une variation de sensibilité a été observée entre les souches bactériennes. *Bacillus subtilis* s'est révélée la plus sensible avec un diamètre d'inhibition de 11 mm, suivie de *Enterococcus faecalis* et *Staphylococcus hominis* avec 10 mm, tandis qu'*Escherichia coli* a présenté la plus faible sensibilité avec 9 mm. Cette différence peut s'expliquer par la structure de la paroi bactérienne. En effet, les bactéries Gram positives possèdent une paroi cellulaire plus simple et plus perméable aux composés actifs des extraits végétaux, contrairement aux bactéries Gram négatives comme *E. coli*, dont la membrane externe riche en lipopolysaccharides constitue une barrière limitant la pénétration des agents antimicrobiens (**Benkeblia, 2021**).

De plus, nos résultats obtenus contre *Escherichia coli* et *Bacillus subtilis* sont supérieurs à ceux rapportés par **Dávid et al. (2025)** sur *Phragmites australis*, où des diamètres d'inhibition compris entre 7 et 9 mm ont été observés avec un extrait méthanolique, indiquant une activité antibactérienne plus faible que celle de notre étude. En revanche, nos résultats sont proches de ceux de **Mokhtari (2022)** obtenus sur *Cyperus papyrus*, où des zones d'inhibition comprises entre 8 et 12 mm ont été enregistrées contre *Staphylococcus aureus*. Concernant *Staphylococcus hominis*, en raison du manque d'études spécifiques sur cette espèce dans *Juncus effusus*, la comparaison a été réalisée avec *Staphylococcus aureus*, appartenant au même genre. De même, pour *Enterococcus faecalis*, les résultats ont été comparés à ceux obtenus pour d'autres bactéries Gram positives étudiées dans des travaux similaires, montrant des tendances globalement proches.

Enfin, les variations observées entre les différentes études peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les conditions écologiques, les variations saisonnières, les méthodes d'extraction (**Turkmen et al., 2007**), la nature du solvant utilisé, la concentration des extraits, la sensibilité des souches bactériennes ainsi que la composition chimique des extraits végétaux (**Loziene et al., 2007**).

II.6. Activité antioxydante

Nous avons employé le test chimique du 2-diphényle-1-picrylhydrazyl (DPPH), afin d'étudier l'activité antioxydante, exprimant la capacité de réduction des radicaux libres. Les résultats obtenus nous a permettent de tracer des graphes illustrent la variation du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration d'extrait aqueux de la plante étudiée (**figure 19**), et l'acide ascorbique (**figure20**). Les analyses ont été réalisées avec un nombre de répétitions égal à six pour l'extrait.

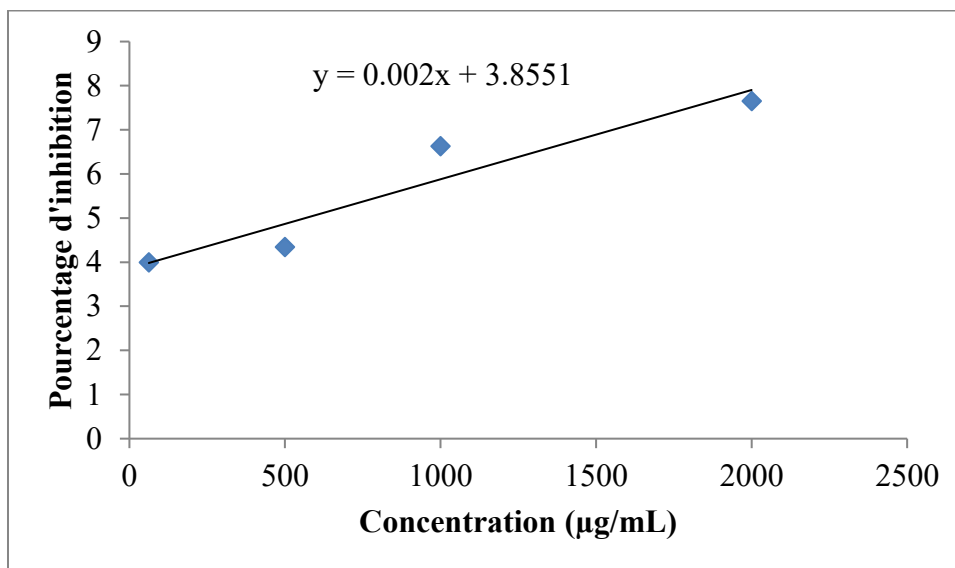


Figure 19. Pourcentage d'inhibition du DPPH par l'extrait aqueux de *Juncus effusus*

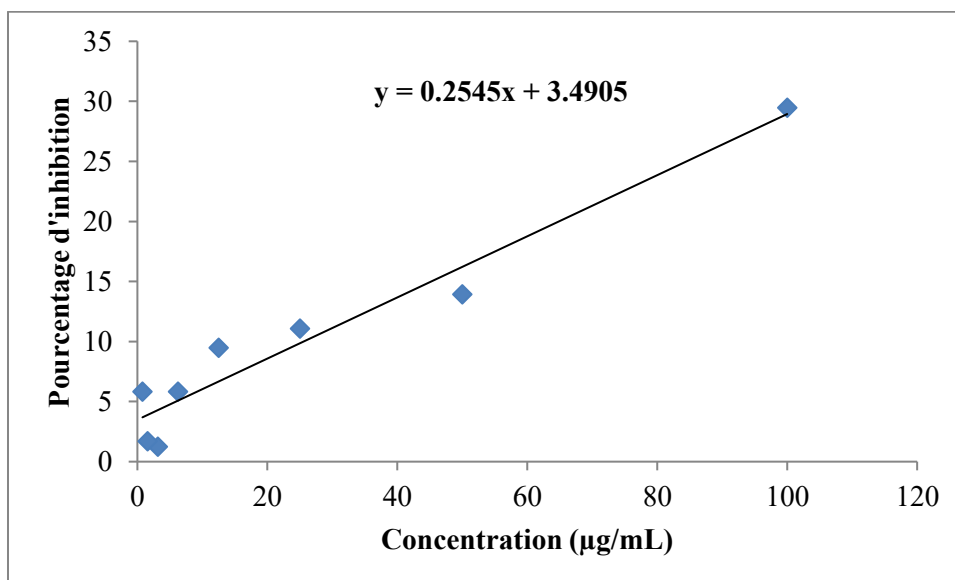


Figure 20. Pourcentage d'inhibition du DPPH par l'acide ascorbique.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'extrait aqueux de *Juncus effusus* présente une activité antioxydante modérée dans le test DPPH, avec une valeur d'IC₅₀ de 23072,45 µg/mL, comparativement à l'acide ascorbique utilisé comme standard positif, qui

présente une activité nettement plus élevée avec une IC_{50} de 183 $\mu\text{g/mL}$. Étant donné que l'activité antioxydante est inversement proportionnelle à la valeur de l' IC_{50} , ces résultats indiquent une faible capacité de l'extrait à piéger les radicaux libres par rapport au composé de référence.

Par ailleurs, l'activité antioxydante observée est inférieure à celle rapportée pour d'autres espèces du genre *Juncus*. En effet, *Juncus acutus* a présenté des valeurs d' IC_{50} de 483,45 $\mu\text{g/mL}$ pour l'extrait éthanolique des feuilles et de 297,03 $\mu\text{g/mL}$ pour l'extrait éthanolique des racines dans le test DPPH, indiquant une activité antioxydante plus importante que celle obtenue dans la présente étude (**Hammouti et al., 2023**). De même, **Ho et al. (2012)** ont rapporté que l'extrait aqueux de *Juncus effusus* var. *decipiens* présentait une IC_{50} de 456,88 $\mu\text{g/mL}$, tandis que l'extrait méthanolique montrait une activité encore plus élevée avec une IC_{50} de 108,95 $\mu\text{g/mL}$.

Cette variation de l'activité antioxydante peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la nature du solvant d'extraction (**Ho et al., 2012**). En outre, même en présence d'une teneur élevée en composés phénoliques totaux, l'activité antioxydante ne dépend pas uniquement de leur quantité, mais également de leur structure chimique, en particulier du nombre et de la position des groupements hydroxyles capables de céder des électrons ou des atomes d'hydrogène aux radicaux libres. Cela explique pourquoi certains extraits riches en polyphénols peuvent présenter une activité antioxydante relativement limitée (**Ali et al., 2013**).



Conclusion
Et
Perspectives

Conclusion générale et perspective

Cette étude a permis d'évaluer le potentiel phytochimique et biologique de l'extrait aqueux de *Juncus effusus*, ainsi que la qualité microbiologique des eaux usées analysées. Le rendement d'extraction obtenu reste relativement faible, ce qui peut être expliqué par l'influence de la méthode de décoction et des conditions de séchage et de conservation.

Le screening phytochimique a révélé que l'extrait est particulièrement riche en métabolites secondaires, notamment les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les saponines, les alcaloïdes et les triterpénoïdes. Cette composition confirme le potentiel bioactif important de la plante. De plus, les dosages quantitatifs ont montré des teneurs élevées en polyphénols et en flavonoïdes, confirmant ainsi la richesse remarquable de l'extrait en composés phénoliques.

Sur le plan antibactérien, l'extrait aqueux a montré une activité dose-dépendante. La bactérie la plus sensible était *Bacillus subtilis*, suivie de *Enterococcus faecalis* et *Staphylococcus hominis*, tandis que *Escherichia coli* s'est révélée la moins sensible. Cette différence peut être expliquée par la structure de la paroi cellulaire, les bactéries Gram positives étant généralement plus sensibles aux composés phénoliques que les bactéries Gram négatives.

Concernant l'activité antioxydante, malgré la richesse importante de l'extrait en polyphénols et flavonoïdes, celui-ci a présenté une activité faible dans le test DPPH comparativement à l'acide ascorbique. Cette faible activité peut s'expliquer non seulement par la quantité totale des composés phénoliques, mais surtout par leur structure chimique et leur faible efficacité à céder des électrons ou des atomes d'hydrogène pour neutraliser les radicaux libres.

Par ailleurs, l'analyse microbiologique des eaux usées a révélé une contamination importante par des bactéries indicatrices de pollution fécale et environnementale, avec une charge élevée, soulignant un risque sanitaire et environnemental significatif.

En conclusion, *Juncus effusus* constitue une source prometteuse de composés bioactifs, notamment des polyphénols et des flavonoïdes responsables de l'activité antibactérienne observée. Cependant, malgré cette richesse chimique, l'activité antioxydante reste limitée, ce qui suggère la nécessité d'approfondir les études sur le fractionnement des extraits et l'identification des composés actifs afin de mieux exploiter le potentiel pharmacologique et environnemental de cette espèce.

Référence bibliographique



Référence

"A"

Abou Baker, D. H. (2022). An ethnopharmacological review on the therapeutical properties of flavonoids and their mechanisms of actions: A comprehensive review based on up to date knowledge. *Toxicology Reports*, 9, 445-469.

<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.03.006>

Adouni, K., Mekhelfi, T., Zaoui, M., Daouadji, D., & Achour, L. (2018). Decoction, infusion and ethanolic extract of *Juncus acutus* rhizome: Phytochemical content and antioxidant properties. *Der Pharmacia Lettre*, 10(3), 54-61 (8 p).

Agnew, A. D. Q. (1961). The ecology of *Juncus effusus* L. in North Wales. *Journal of Ecology*, 49(1), 83–102. <https://doi.org/10.2307/2257425>

Al-Ghamdi, A. Y., Abdalla, M. O. M., & Fadlelmula, A. A. (2020). Phytochemical, total phenolic contents, and antioxidant and antimicrobial activities of *Ocimum basilicum* L. leaf extract in Al-Baha area, Saudi Arabia. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 12(1), 27–34

Ali, H. M., Abo-Shady, A., Sharaf Eldeen, H. A., Soror, H. A., Shousha, W. G., Abdel-Barry, O. A., & Saleh, A. M. (2013). Structural features, kinetics and SAR study of radical scavenging and antioxidant activities of phenolic and anilinic compounds. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 53. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-53>

Al-Khayri, J. M., Sahana, G. R., Nagella, P., Joseph, B. V., Alessa, F. M., & Al-Mssallem, M. Q. (2022). Flavonoids as potential anti-inflammatory molecules: A review. *Molecules*, 27(9), 2901. <https://doi.org/10.3390/molecules27092901>

Aniszewski, T. (2007). Alkaloids - secrets of life: Alkaloid chemistry, biological significance, applications and ecological role (334 p.). Elsevier.

Archambaud, C., Núñez, N., da Silva, R. A. G., Kline, K. A., & Serror, P. (2024). *Enterococcus faecalis*: an overlooked cell invader. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 88(3)

Arslan, M., Devisetty, U. K., Porsch, M., Große, I., Müller, J. A., & Michalski, S. G. (2019). RNA-Seq analysis of soft rush (*Juncus effusus*): Transcriptome sequencing, de novo assembly, annotation, and polymorphism identification. *BMC Genomics*, 20(1), 489, 1-12.

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods uses in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3), 196.

"B"

- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibensouda, S. K. (2016).** Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79.
- Banock, L. L., Kweyang, B. P. T., Mengo, F. E. O., Noah, S. A., Zang, E. D. M., & Ewoti, O. V. N. (2024).** Abiotic factors associated with abundance dynamics and antibiotic multidrug resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* isolated from some Ombessa aquatic systems (Central Cameroon Region). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 12(11), 335–369.
- Becker, K., Heilmann, C., & Peters, G. (2023).** Antibacterial potential of wetland plant extracts against multi-drug resistant pathogens. *Environmental Science and Pollution Research*, 36(1), 1145–1158. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28941-2>.
- Belaiche, P. (1979).** Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. Tome 1 : L'aromatogramme. Paris, France : Maloine, 201 p.
- Belguidoum, M. (2018).** Étude de métabolites secondaires et quelques activités de plantes de la flore algérienne [Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas - Sétif 1].
- Benhamou, M., et al. (2023).** Reconnaissance et étude de *Juncus effusus* dans la région de Touggourt. *Journal de Botanique Algérienne*, Vol. 42, No. 3, pp. 215-230.
- Benkeblia, N. (2021).** Antimicrobial properties of plant secondary metabolites and bacterial cell wall permeability. *Journal of Applied Microbiology*, 131(3), 1015–1032.
- Benras, A. (2024).** Caractérisation physico-chimique et activités biologiques des alcaloïdes d'une plante saharienne de la famille Apiaceae (Doctoral dissertation, Kasdi Merbah-Ouargla University, 171 p.). Repository Kasdi Merbah-Ouargla <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/3742>
- Berche, P., Gaillard, J.-L., & Simonet, M. (1994).** Bactériologie : bactéries des infections humaines (1^{re} éd.). Paris, France: Médecine-Sciences Flammarion.
- Bhambhani, S., Kondhare, K. R., & Giri, A. P. (2021).** Diversity in chemical structures and biological properties of plant alkaloids. *Molecules*, 26(11), 3374. <https://doi.org/10.3390/molecules26113374>
- Boucheita, A., Boughdad, A., & Blenzar, A. (2005).** Effets biocides des alcaloïdes, des saponines et des flavonoïdes extraits de *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) sur *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrodidae). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 9(4), 259-269 (11 p).
- Bouchouka, E. (2016).** Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydante et antibactérienne de quelques plantes Sahariennes. Thèse de doctorat en science. Université badji mokhtar, annaba. 114p.

Boughrara, B. (2016). Inventaire et étude ethnobotanique et chimique des plantes à intérêts thérapeutique et nutritif du Parc national El-Kala (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar-Annaba, 179 p.

Bussmann, R. W., Paniagua-Zambrana, N. Y., & Kikvidze, Z. (Eds.). (2017). Ethnobotany of the Caucasus (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-913693>

"C"

Ceccon, J. (2015). Synthèse Totale d'Alcaloïdes Polyhydroxylés (Doctoral dissertation, Université de Haute-Alsace, 203 p.). HAL. <https://theses.hal.science/tel-01201927>

Calheiros, C. S. C., Rangel, A. O. S. S., & Castro, P. M. L. (2015). Treatment of industrial wastewater with two-stage constructed wetlands planted with *Typha latifolia* and *Juncus effusus*. *Environmental Technology*, 36(9), 1141–1150.

Carrée P., (1953). Précis de technologie et de chimie industrielle. Paris : Ballière J.B. et Fils, p. 475. Carthage]. 288p.

Chenni, M. (2016). Etude comparative de la composition chimique de l'activité biologique et l'huile essentielle des feuilles du basilic "*Ocimum basilicum*. L " extraite par hydro- distillation et par micro-ondes. [Thèse de doctorat, université Ahmed Benbella Oran]. 185p.

Choi, Y. M., Noh, D. O., Cho, S. Y., Suh, H. J., Kim, K. M., & Kim, J. M. (2006). Antioxidant and antimicrobial activities of propolis from several regions of Korea. *LWT – Food Science and Technology*, 39(7), 756–761. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.05.015>

"D"

Daira, N. E. H., Maazi, M. C., & Chefrou, A. (2016). Contribution à l'étude phytochimique d'une plante médicinale (*Ammoides verticillata* (Desf.) Briq.) de l'Est Algérien. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 85, 276-290 (15 p). <https://doi.org/10.25518/0037-9565.6494>

Dávid, C. Z., Kincses, A., Kiss, T., Girst, G., Papp, L., Hohmann, J., & Vasas, A. (2026). Antibacterial, antioxidant, and xanthine-oxidase inhibitory screening studies of selected Cyperaceae species occurring in Europe. *Biologia Futura*, 77, 139–154. <https://doi.org/10.1007/s42977-025-00294-y>. Exploration de leurs activités biologiques [Thèse de doctorat, Université de Lille 2 & de Tlemcen]

"G"

García-Muñoz, M., García-Muñoz, P., Pliego, G., de Pedro, Z. M., Zazo, J. A., Casas, J. A., & Rodríguez, J. J. (2017). Application of intensified Fenton oxidation to the treatment of hospital wastewater: kinetics, ecotoxicity and disinfection. *Journal of*

Environmental Chemical Engineering, 4(4), 4107–4112.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.001>

George, I., Crop, P., Servais, P. (2017). Fecal coliforms and microbial indicators in wastewater systems. *Water Research*, 112, 1–10.

GHEDADBA NABIL., (2021). Chapitre 1 : Métabolisme secondaire (Polycopié de cours).

Guergour, H. (2018). Étude des aspects morphologiques, phytochimiques et pharmaco- toxicologiques de la plante *Peganum harmala* [Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1]. 159 p.

"H"

Hakem, Asma. (2023). Les métabolites spécialisés du genre *Juncus* : approfondissement de leur

Hammouti, Y., Elbouzidi, A., Taibi, M., Bellaouchi, R., Loukili, E. H., Bouhrim, M., Noman, O. M., Mothana, R. A., Ibrahim, M. N., Asehrou, A., El Guerrouj, B., & Addi, M. (2023). Screening of phytochemical, antimicrobial, and antioxidant properties of *Juncus acutus* from Northeastern Morocco. *Life*, 13(11), 2135.

<https://doi.org/10.3390/life13112135>.

Ho, Y.-L., Huang, S.-S., Deng, J.-S., Lin, Y.-H., Chang, Y.-S., & Huang, G.-J. (2012). In vitro antioxidant properties and total phenolic contents of wetland medicinal plants in Taiwan. *Botanical Studies*, 53(1), 55–66.

<https://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2012/1/Bot531-06/Bot531-06>

Hohlfeld, R. (2010). Plant propagation protocol for *Juncus effusus*. ESRM 412 – Native Plant <https://courses.washington.edu/esrm412/protocols/2010/JUEF>.

Huang, S. S., Deng, J. S., Lin, Y. H., Chang, Y. S., & Huang, G. J. (2012). In vitro antioxidant properties and total phenolic contents of wetland medicinal plants in Taiwan. *Botanical Studies*, 53, 55-66 (12 p). <https://doi.org/10.1186/1999-3110-53-55>

"I"

Ibingou Dibala, C. (2017). Composés phénoliques et propriétés biologiques de deux plantes de la inflammatory effects of *Juncus effusus* extract (JEE) on LPS-stimulated RAW 264.7 cells and edema models. *Pharmaceutical Biology*, 54(2), 243–250.

<https://doi.org/10.3109/13880209.2015.1029053>

"K"

Kadlec, R. H., & Knight, R. L. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press Inc., Boca Raton, FL, P 893

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands* (2nd ed.). CRC Press

Karstens, S., Langer, M., Nyunoya, H., Čaraitė, I., Stybel, N., Razinkovas-Baziukas, A., & Bochert, R. (2021). Constructed floating wetlands made of natural materials as habitats in eutrophicated coastal lagoons in the Southern Baltic Sea. *Journal of Coastal Conservation*, 25(44). <https://doi.org/10.1007/s11852-021-00826-3>

Kovács, A., Vasas, A., & Hohmann, J. (2018). Family Juncaceae: promising source of biologically active natural phenanthrenes. *Phytochemistry Reviews*, 17, 833-851 (19 p). <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9561-5>

Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, Article 162750. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>

"L"

Laftouhi, A., Eloutassi, N., Drioua, S., Ech-Chihbi, E., Rais, Z., Abdellaoui, A., Taleb, A., Beniken, M., & Taleb, M. (2023). Impact of water stress and temperature on metabolites and essential oil of *Rosmarinus officinalis* (Phytochemical screening, extraction, and gas chromatography). *Journal of Ecological Engineering*, 24(5), 237–248. <https://doi.org/10.12911/22998993/161760>

Lahoum, A., Aouiche, A A., Bouras, N., Verheecke, C., Klenk, H.-P., Sabaou, N. & Mathieu, F. (2016). Antifungal activity of a Saharan strain of *Actinomadura* sp. ACD1 against toxigenic fungi and other pathogenic microorganisms, *Journal de Mycologie Médicale*, MYCMED-605, 1- 8.

Lew, S., Glińska-Lewczuk, K., Burandt, P., Grzybowski, M., & Obolewski, K. (2023). Fecal bacteria in coastal lakes: An anthropogenic contamination or natural element of microbial diversity *Ecological Indicators*, 152, 110370.

Li, H.-X., Deng, T.-Z., Chen, Y., Feng, H.-J., & Yang, G.-Z. (2007). Isolation and identification of phenolic constituents from *Juncus effusus*. *Yao Xue Xue Bao*, 42(2), 174–178.

Licher, M., & Rink, G. (2019). Vascular plants of Arizona: Juncaceae rush family. *Canotia*, 15, 14–64.

Lille & l'Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Université de l'Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Université de Carthage].

Ložienė, K., Venskutonis, P. R., Šipailienė, A., & Labokas, J. (2007). Radical scavenging and antibacterial properties of the extracts from different *Thymus pulegioides* L. chemotypes. *Food Chemistry*, 103(2), 546–559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.027>

"M"

Maataoui, B. S., Hunyeur, A., & Hilali, M. (2006). Activités antiradicalaires d'extraits de jus de fruits du Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*). *Lebanese Science Journal*, 7(1), 3–8.

Majhenic, L., Škerget, M., & Knez, Ž. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of plant extracts. *Food Chemistry*, 101Ext (1), 104–111.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.069>.

Markowicz, B. D. H., Saldanha, L.A., Catharino, R., Sawaya, A.C.H. F., Cunha, I B.S., Carvalho, P. O & Eberlin, M.N. (2007). Phenolic antioxidants identified by ESIMS from Yerba Maté (*Ilex paraguariensis*) and Green Tea (*Camelia sinensis*), *Extracts Molecules*. (12), 423-432.

McCorry, M. J., & Renou, F. (2003). Ecology and management of *Juncus effusus* (soft rush) on cutaway peatlands (BogFor Report No. 69). COFORD.

Mokhtari, B. (2022). L'étude de la phytochimie et l'activité antibactérienne d'une plante épuratrice de l'eau (*Cyperus papyrus*) [Mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued].

Müller, J., Jantzen, C., & Wiedow, D. (2020). The energy potential of soft rush (*Juncus effusus* L.) in different conversion routes. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s13705-020-00258-1>

"N"

Necer, A., Tadjine, A., Belouahem-Abed, D., & Saoudi, M. (2019). Vegetation heterogeneity of black alder forests in and around El-Kala Biosphere Reserve, northeastern Algeria. *Botanical Sciences*, 97(1), 13-34. <https://doi.org/10.17129/botsci.1982>

Nishimura, T., Kabata, K., Koike, A., Ono, M., Igoshi, K., & Yasuda, S. (2016). In vitro anti-inflammatory effects of edible igusa soft rush (*Juncus effusus* L.) on lipoxigenase, hyaluronidase, and cellular nitric oxide generation assays: Comparison with matcha green tea (*Camellia sinensis* L.). *Food Science and Technology Research*, 22(3), 395–402.
<https://doi.org/10.3136/fstr.22.395> Ouargla, Faculté des Mathématiques et Sciences de la Matière]. 217p.

"O"

Ouis, N. (2015). Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre de fenouil de persil. Thèse de doctorat. Université d'Oran 1. 223p

Özgüven, M., & Tansi, S. (1998). Drug yield and essential oil of *Thymus vulgaris* L. as influenced by ecological and ontogenetical variation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22, 53-60 (8 p).

"P"

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. Journal of Nutritional Science, 5, Article e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>

Park, N. Y., Kim, S. G., & Park, H. H. (2016). Antimicrobial and antioxidant activities of *Juncus effusus* extracts. Microbiology and Biotechnology Letters, 44(3), 284–291. <https://doi.org/10.4014/mbl.1604.04004>

Periasamy, A. P., & Sundaram, K. (2013). Evaluation of wastewater treatment in hospitals. Journal of Water Health, 11(2), 203–215.

"R"

Rahal, K. (2005). Standardisation de l'antibiogramme en médecine humaine à l'échelle nationale selon les recommandations de l'OMS (4^e éd.). Alger, Algérie : Ministère de la Santé, de la Population et de la Réforme Hospitalière.

Rashid, M. I., Fareed, M. I., Rashid, H., Aziz, H., Ehsan, N., Khalid, S., Ghaffar, I., Ali, R., Gul, A., & Hakeem, K. R. (2019). Flavonoids and Their Biological Secrets. In M. Ozturk & K. R. Hakeem (Eds.), Plant and Human Health (Vol. 2, p. 589-603). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03344-6_24 réducteur du fer d'un extrait de *Caralluma europaea* (Guss.) [Mémoire de master, Université

Reghioua, S., Boughachiche, F., Zerizer, H., Oulmi, L., Kitouni, M., Boudemagh, A., & Boulahrouf, A. (2006). Activité antibactérienne d'actinomycètes rares isolés d'échantillons de sol aride du Sud-est Algérien. Antibiotiques, 8(3), 147–152.

Reguib, N. (2021). Dosage des composés phénoliques, capacité antioxydante totale et pouvoir.

Remadna, C. (2019). Etude phytochimique et évaluation des activités biologiques des différents extraits des tiges de *Juncus maritimus* [Mémoire de master, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie] (55 p).

Rira, M. (2019). Les tanins hydrolysables et condensés : Une piste pour la réduction des émissions de méthane chez les ruminants [Thèse de doctorat, Université de Montpellier].

"S"

<https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1653378>

Saad, A. M., Mohammed, D. M., Alkaffas, S. S., Ghosh, S., Negm, S. H., Salem, H. M., Fahmy, M. A., Semary, H. E., Ibrahim, E. H., AbuQamar, S. F., El-Tarabily, K. A., & El-Saadomy, M. T. (2025). Dietary polyphenols and human health: sources, biological activities, nutritional and immunological aspects, and bioavailability - a comprehensive review. Frontiers in Immunology, 16, Article 1653378.

<https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1653378>

Sahar, O. (2022). Quantitative ethnobotanical investigation of medicinal plants used by the local population in the rural municipalities of Haizer and El Asnam, province of. 1-20.

Sahli, R. (2017). Caractérisation phytochimique de quelques plantes tunisiennes et évaluation de leurs activités biologiques [Thèse de doctorat, Université de Tunis El Manar].

Santiago, G. S., Dropa, M., Martone-Rocha, S., dos Santos, T. P., de Moura Gomes, V. T., Barbosa, M. R. F., & Razzolini, M. T. P. (2024). Antimicrobial resistance characterization of *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus hirae* isolated from marine coastal recreational waters in the State of São Paulo, Brazil. *Journal of Water and Health*, 22(9), 1628–1640.

Seo, K. W., Gu, M. B., Tsang, Y. F., Choi, Y.-S., & Chung, J. (2022). Application of endospore-forming *Bacillus* species to food waste-recycling wastewater treatment: A focus on the fate of macromolecular nutrients. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107584.

Shatha, M. H. (2022). Comparative study of physiological and phenotype characteristics of *Juncus rigidus* L. rhizome in two regions in Basrah government. *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*, 11, 236–245.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). *Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.

Stülke, J., Grüppen, A., Bramkamp, M., & Pelzer, S. (2023). *Bacillus subtilis*, a Swiss Army Knife in Science and Biotechnology. *Journal of Bacteriology*, 205(5)

"T"

Thuerig, B., Ramseyer, J., Hamburger, M., Oberhänsli, T., Potterat, O., Schärer, H.-J., & Tamm, L. (2016). Efficacy of a *Juncus effusus* extract on grapevine and apple plants against *Plasmopara viticola* and *Venturia inaequalis*, and identification of the major active constituent. *Pest Management Science*, 72(9), 1718–1726. <https://doi.org/10.1002/ps.4199>

Tonzibo, Z. F., Bonzi-Coulibaly, Y., Chalchat, J. C., N'Guessan, T., & Sib, F. S. (2000). Étude de la variation au cours du séchage de la teneur et de la composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. *Rivista Italiana EPPOS*, 8, 47-53 (7 p).

Toualbia, Y. (2025). Etude ethnobotanique et biologique de quelques plantes utilisées dans le traitement de l'infertilité dans le Sahara septentrional [Thèse de doctorat, Université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, Algérie] (172 p).

Türkmen, N., Velioglu, Y. S., Sari, F., & Polat, G. (2007). Effect of extraction conditions on measured total polyphenol contents and antioxidant and antibacterial activities

of black tea. *Molecules*, 12(3), 484–496. <https://doi.org/10.3390/12030484> Université Clermont Auvergne]. Université de Batna 2. 9page.

"U"

Urucu, O. A., Garosi, B., & Musah, R. A. (2025). Efficient phytoremediation of methyl red and methylene blue dyes from aqueous solutions by *Juncus effusus*. *American Chemical Society Omega*, 10(2), 1943–1953.

"V"

Von Sperling, M. (2007). Wastewater characteristics, treatment and disposal (Vol. 1). IWA Publishing.

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(1), 133–156.

"W"

WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). World Health Organization.

World Health Organization. (2021). Guidelines for safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int>.

Wu, A., Zhang, Y., Zhao, X., Li, J., Zhang, G., Shi, H., Guo, L., & Xu, S. (2022). Experimental study on the hydroponics of wetland plants for the treatment of acid my drainage. *Sustainability*, 14(4), 2148. <https://doi.org/10.3390/su14042148>

"Y"

Yin, N.S., Abdullah, S. & Phin, C.K. (2013). Phytochemical constituents from leaves of *elaeis guineensis* and their antioxidant and antimicrobial activities. *Int J Pharm PharmSci*, 5(4), 137-140

Yunusoğlu, O., Arıkan, İ., & Düzgün, E. H. (2025). Pharmacological, medicinal and biological properties of flavonoids: A comprehensive review. *Journal of Research in Pharmacy*, 29(2), 561-584. <https://doi.org/10.12991/jrespharm.1661054>

"Z"

Zhao, W., Xu, L.-L., Zhang, X., Gong, X.-W., Zhu, D.-L., Xu, X.-H., Wang, F., & Yang, X.-L. (2018). Three new phenanthrenes with antimicrobial activities from the aerial parts of *Juncus effusus*. *Fitoterapia*, 130, 247–250.

Zhao, Y., Fan, L., Gao, S.-H., Huang, F., Lei, Z., Wang, W., Gao, R., Dai, Z., Li, Q., & Liang, B. (2024). Strain-level multidrug-resistant pathogenic bacteria in urban

wastewater treatment plants: Transmission, source tracking and evolution. Water Research, 267, 122538.

Zhuang, W. B., Shao, J. H., Zhao, J. P., Chen, M., Free, S. D., Quan, M. S., & Liu, J. X. (2023). The classification, molecular structure and biological biosynthesis of flavonoids, and their roles in biotic and abiotic stresses. *Molecules*, 28(8), 3599.

<https://doi.org/10.3390/molecules28083599>

مراجع باللغة العربية:

دحية، م. (2009). النباتات الطبية في مناطق الجلفة وبوسعادة والمسيلة: دراسة نبات القزاح *Pituranthos* انواعه، التركيب الكيميائي والنشاطية البيولوجية للزيوت الطيارة للسيقان. (أطروحة دكتوراه، جامعة فرحات عباس، سطيف).

العابد، إبراهيم. (2015). معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، كلية الرياضيات وعلوم المادة]. 134 ص.

زغدي، سعد. (2017). تحديد النباتات المنقية المحلية واستخدامها في تنقية مياه الصرف الصحي لمنطقة الوادي [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، كلية هندسة الطرائق، ورقلة، الجزائر].

