



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche*  
*Scientifique*



**Université Abbès Laghrou Khenchela**  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire

## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de **MASTER ACADEMIQUE**.

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie.**

**Filière : Sciences biologiques.**

**Option : Microbiologie appliquée.**

## **Thème**

**Evaluation de l'activité antibactérienne de  
quelques extraits de plantes médicinales récoltées  
dans l'Algérie.**

**Présenté par**

**Belkoum Hadjer**

**Ouchene Wiam**

***Devant***

**Jury de soutenance**

**Présidente : Dr. Naili Oumaima**

MCA. Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**Promotrice : Dr. Hanoun Saida**

MCA. Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**Examinatrice : Dr. Boutarfa soumia**

MCB. Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**Année universitaire : 2023-2024**

# Remerciement

*Avant toutes choses, on remercie ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Nous adressons nos vifs remerciements aux membres de jury Dr. Naili Oumaima et Dr. Boutarfa Soumia qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.*

*Nous adressons également nos profonds remerciements à notre Promotrice, Dr. Hanoun Saida. On la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, les conseils qu'elle nous a accordés tout au long de ce travail. Merci également pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Sans oublier toutes les enseignantes du département de science de la nature et de la vie de l'université Abbes Laghrour Khenchela, pour leur aide, pour leurs conseils et leur soutien.*

*Nous tenons à remercier également toute l'équipe du laboratoire pédagogique de l'université Abbes Laghrour Khenchela « El Hamma », et spécialement Sara Mizane, ingénieure de laboratoire de microbiologie. Nous n'oublions pas son soutien moral qui nous a souvent aidé à remonter la pente dans les moments difficiles.*

*Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui, de loin ou de près, nous ont aidé à l'élaboration de ce mémoire.*

*Merci*

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire ...*

*À mes parents, Belkroum Mahboubi et Hiraoui Melouka pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices inestimables. Votre encouragement constant m'a donné la force et la motivation nécessaires pour accomplir cette étape importante de ma vie académique.*

*À mon frère Khaled et mes sœurs Naima, Sara et Chaima, vos encouragements et votre compréhension m'ont donné le soutien émotionnel dont j'avais besoin pour surmonter les défis. Nous avons partagé de nombreux moments de joie et de rires et je suis reconnaissante de vous avoir à mes côtés.*

*À mon encadrante, Dr. Hanoun Saida, pour son expertise, sa guidance et son inspiration. Votre enseignement passionné m'a ouvert de nouveaux horizons et m'a permis de grandir intellectuellement.*

*À ma binôme Wiam, chère amie pour son entente et sa sympathie.*

*À mes amies Nour Elhouda, Amani, Khaoula et Hadjer, je vous remercie sincèrement pour vos encouragements tout au long de ce travail. Vos discussions stimulantes et votre amitié précieuse ont rendu cette expérience mémorable. Vous étiez des facteurs clés de notre réussite commune.*

*Enfin, je dédie ce mémoire à moi-même. C'est le fruit de mon travail acharné, de ma persévérance et de ma détermination. Je suis fière de ce que j'ai accompli et je suis impatiente de continuer à me développer en tant que professionnelle dans ce domaine.*

*Hadjer*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

*À mes chers parents, source de vie, d'amour et d'affection*

*À mon cher frère, qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles*

*À mes chers frères et leurs enfants, source de joie et de bonheur*

*À madame Hanoun, chère encadrante pour avoir encadré et dirigé ce travail, pour sa  
disponibilité et ses conseils*

*À Hadjer, chère amie avant d'être binôme pour son entente et sa sympathie*

*À Amel, chère amie source d'espoir et de motivation*

*À tous mes amis et mes collègues.*

*Wiam*

## Résumé

*Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album* sont des plantes médicinales très utilisées depuis longtemps pour leurs propriétés thérapeutiques contre diverses pathologies. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'activité antibactérienne et d'analyser la composition phyto-chimique des extraits méthanoliques et éthanoliques de *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*, récoltées dans l'Algérie. Les extraits obtenus par macération ont fait l'objet d'un criblage phytochimique en utilisant des tests phytochimiques. D'après les résultats, ces extraits renferment une grande quantité de métabolites secondaires, tels que les flavonoïdes, les composés phénoliques et les tannins. Selon l'estimation quantitative des polyphénols totaux par dosages colorimétriques, les extraits présentaient des teneurs équivalentes à ( $161,99 \pm 11.93 \mu\text{g EAG} / \text{mg Es}$  ;  $158,73 \pm 8.36 \mu\text{g EAG} / \text{mg Es}$ ) pour l'extrait méthanolique et éthanolique de *P. aviculare*, respectivement. La quantité de flavonoïdes estimée pour l'extrait méthanolique et éthanolique de *P. aviculare* était de ( $30.87 \pm 3.76 \mu\text{g EQ} / \text{mg Es}$  ;  $46.43 \pm 5.82 \mu\text{g EQ} / \text{mg Es}$  respectivement. Par ailleurs, les teneurs de polyphénols dans les extraits de *Z. album* étaient de ( $19,55 \pm 1,79 \mu\text{g EAG} / \text{mg Es}$  et de  $25,40 \pm 2.39 \mu\text{g EAG} / \text{mg Es}$ ) pour l'extrait méthanolique et éthanolique respectivement et la teneur en flavonoïdes correspondait à ( $19,14 \pm 6.11 \mu\text{g EQ} / \text{mg Es}$  ;  $21,40 \pm 0.98 \mu\text{g EQ} / \text{mg Es}$ ) pour l'extrait méthanolique et éthanolique de *Z. album* respectivement. Les résultats de l'efficacité antibactérienne, effectuée par diffusion en milieu gélosé vis-à-vis de sept bactéries Gram négatives (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Escherichia coli* 301) et une bactérie Gram positive (*Staphylococcus aureus* ATCC 27923) ont montré que toutes les souches bactériennes étaient sensibles à l'extrait méthanolique de *Polygonum aviculare*. Nous avons constaté une activité antibactérienne significative à l'égard de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 et *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 ( $19 \pm 1.47 \text{ mm}$ ), tandis que l'extrait éthanolique de *Polygonum aviculare* a montré une activité modérée vis-à-vis de toutes les souches testées, à l'exception de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. En outre, les extraits de la partie aérienne de *Zygophyllum album* ont montré une activité antibactérienne modérée seulement vis-à-vis des bactéries à Gram négatif, sans aucune inhibition des bactéries à Gram positif pour les deux types d'extraits, méthanoliques et éthanoliques.

**Mots clés :** Activité antibactérienne, screening phytochimique, *Polygonum aviculare*, *Zygophyllum album*.

## **Abstract**

*Polygonum aviculare* and *Zygophyllum album* are medicinal plants that have been widely used for their therapeutic properties against various pathologies. The aim of this study is to evaluate the antibacterial activity and to analyze the phyto-chemical composition of methanol and ethanol extracts from *Polygonum aviculare* and *Zygophyllum album* collected in Algeria. The extracts obtained by maceration underwent phytochemical screening using various tests. According to the results, these extracts contain a significant amount of secondary metabolites, such as flavonoids, phenolic compounds, and tannins. Quantitative estimation of total polyphenols using colorimetric assays revealed equivalent contents of ( $161.99 \pm 11.93 \mu\text{g GAE/mg}$  Es :  $158.73 \pm 8.36 \mu\text{g GAE/ per mg}$  of extract) for the methanol and ethanol extracts of *P. aviculare*, respectively. The estimated flavonoid content for the methanol and ethanol extracts of *P. aviculare* was ( $30.87 \pm 3.76 \mu\text{g QE/mg}$  ;  $46.43 \pm 5.82 \mu\text{g QE/mg}$ ) respectively. In contrast, the polyphenol contents in *Z. album* extracts were ( $19.55 \pm 1.79 \mu\text{g GAE/mg}$  and  $25.40 \pm 2.39 \mu\text{g GAE/mg}$ ) for the methanol and ethanol extracts, respectively. In addition, the flavonoid content was ( $19.14 \pm 6.11 \mu\text{g QE/mg}$  ;  $21.40 \pm 0.98 \mu\text{g QE/mg}$ ) for the methanol and ethanol extracts of *Z. album*, respectively. The results of the antibacterial efficacy, assessed by agar diffusion method against seven Gram- negative bacteria (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Escherichia coli* 301), and one Gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus* ATCC 27923), revealed that all bacterial strains were sensitive to the methanol extract of *Polygonum aviculare*. Notably, we observed significant antibacterial activity against *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 ( $19 \pm 1.47 \text{ mm}$ ) with the methanol extract. However, the ethanol extract of *Polygonum aviculare* exhibited moderate activity against all tested strains except *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. Additionally, the aerial part extracts of *Zygophyllum album* demonstrated moderate antibacterial activity specifically against Gram- negative bacteria, with no inhibition of Gram-positive bacteria for both methanol and ethanol extracts.

**Keywords:** Antibacterial activity, phytochemical screening, *Polygonum aviculare*, *Zygophyllum album*.

## الملخص

تُعد *Zygophyllum album* و *Polygonum aviculare* نبتتين طبيبتين استُخدما على نطاق واسع لخصائصها العلاجية ضد مجموعة متنوعة من الأمراض. يهدف هذا البحث إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا وتحليل التركيب الكيميائي للمستخلصات الميثانولية والإيثانولية من *Zygophyllum album* و *Polygonum aviculare* المُجمعة في الجزائر. خضعت المستخلصات التي تم الحصول عليها لفحص فيتوكيميائي باستخدام اختبارات متنوعة. ووفقاً للنتائج، تحتوي هذه المستخلصات على كمية كبيرة من المركبات الثانوية، مثل الفلافونويدات والمركبات الفينولية والتانينات. أظهر التقدير الكمي للبوليفينولات الإجمالية باستخدام الاختبارات اللونية محتوى مكافئاً لـ (11.93±161.99) ميكروغرام مكافئ حمض الجاليك/ملغ جاف؛ 8.36±158.73 ميكروغرام مكافئ حمض الجاليك/ملغ جاف) لمستخلصات الميثانول والإيثانول من *P. aviculare* على التوالي. كما كان محتوى الفلافونويدات المقدر لمستخلصات الميثانول والإيثانول من *P. aviculare* هو (3.76±30.87) ميكروغرام مكافئ الكويرسيتين/ملغ جاف؛ 5.82±46.43 ميكروغرام مكافئ الكويرسيتين/ملغ جاف) على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، كانت مستويات البوليفينولات في مستخلصات *Z. album* هي (1.79±19.55) ميكروغرام مكافئ حمض الجاليك/ملغ جاف و (2.39±25.40) ميكروغرام مكافئ حمض الجاليك/ملغ جاف) لمستخلصات الميثانول والإيثانول على التوالي. وعلى العكس من ذلك، كان محتوى الفلافونويدات (6.11±19.14) ميكروغرام مكافئ الكويرسيتين/ملغ جاف؛ 0.98±21.40 ميكروغرام مكافئ الكويرسيتين/ملغ جاف) لمستخلصات الميثانول والإيثانول من *Z. album* على التوالي. نتائج فعالية مضادات البكتيريا، التي تم تقديرها باستخدام تقنية الانتشار على وسط صلب على سبعة بكتيريا سلبية الغرام (*Escherichia coli*، *Pseudomonas aeruginosa*، *Klebsiella pneumoniae* ATCC 25922، *Escherichia coli* ATCC 27853، *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853، *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603، *Staphylococcus aureus* ATCC 700603، *Escherichia coli* 301، *pneumoniae* ATCC 700603)، وبكتيريا إيجابية الغرام واحدة (*Staphylococcus aureus* ATCC 27923)، أظهرت أن جميع سلالات البكتيريا كانت حساسة لمستخلص الميثانول من *Polygonum aviculare*. لاحظنا بشكل خاص نشاطاً مضاداً للبكتيريا مع مستخلص الميثانول ضد *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 و *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 (1.47±19 مم). كما أظهر مستخلص الإيثانول من *Polygonum aviculare* نشاطاً معتدلاً فقط ضد جميع السلالات المختبرة باستثناء *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. بالإضافة إلى ذلك، أظهر مستخلص أجزاء النبات الهوائية من *Zygophyllum album* نشاطاً مضاداً معتدلاً بشكل خاص ضد البكتيريا سلبية الغرام، دون تثبيط البكتيريا إيجابية الغرام من طرف كلا المستخلصين (الميثانول والإيثانول).

**الكلمات المفتاحية:** النشاط المضاد للبكتيريا، الفحص الفيتوكيميائي، *Polygonum aviculare*، *Zygophyllum album*.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

Introduction ..... 1

Partie bibliographique

Chapitre I : les plantes médicinales

1.1. Définition des plantes médicinales .....3

1.2. Histoire et importance des plantes médicinales ..... 3

1.3. Utilisation des plantes médicinales ..... 3

1.4. Domaines d'applications des plantes médicinales ..... 5

1.5. Les principes actifs des plantes médicinales .....5

1.5.1. Les métabolites primaires ..... 6

1.5.2. Les métabolites secondaires ..... 6

    1.5.2.1. Les polyphénols ..... 6

    1.5.2.2. Les flavonoïdes ..... 6

    1.5.2.3. Les tanins ..... 7

    1.5.2.4. Les saponines ..... 8

    1.5.2.5. Les alcaloïdes .....8

    1.5.2.6. Les quinones ..... 9

    1.5.2.7. Les coumarines.....10

    1.5.2.8. Les stéroïdes et triterpène.....10

1.6. Les activités biologiques des plantes médicinales .....11

    1.6.1. L'activité antibactérienne ..... 11

    1.6.2. L'activité anti-oxydante ..... 12

    1.6.3. L'activité anti-inflammatoire ..... 13

    1.6.4. L'activité anticancéreuse ..... 13

1.7. Les risques des plantes médicinales.....14

Chapitre II : présentation des plantes étudiées

2.1. L'espèce *Polygonum aviculare* .....15

    2.1.1. Généralités ..... 15

    2.1.2. Classification .....15

    2.1.3. Caractéristiques botaniques ..... 16

## Tables des matières

---

---

2.1.4. Distribution .....	16
2.1.5. Usage traditionnelle .....	17
2.2. L'espèce <i>Zygophyllum album</i> .....	17
2.2.1. Généralités .....	18
2.2.2. Classification .....	19
2.2.3. Distribution .....	19
2.2.4. Usage traditionnelle .....	19

### Partie expérimentale

#### Chapitre I : matériel et méthodes

1. Matériel .....	20
1.1. Matériel végétal .....	20
1.1.1. Séchage et broyage des plantes.....	20
1.2. Matériel microbien .....	20
1.2.1. Les souches bactériennes utilisées.....	20
2. Préparation des extraits des plantes étudiées ( <i>Polygonum aviculare</i> et <i>Zygophyllum album</i> )	21
3. Détermination de l'activité antibactérienne .....	23
3.1. Préparation des solutions des extraits et de l'inoculum bactérien.....	23
3.2. Ensemencement et dépôts des disques.....	23
3.3. Lecture.....	23
4. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI.....	24
5. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux .....	24
5.1. Dosage des polyphénols totaux .....	24
5.1.1. Principe .....	24
5.1.2. Manipulation .....	24
5.2. Dosage des flavonoïdes totaux .....	25
5.2.1. Principe.....	25
5.2.2. Manipulation.....	25
6. Screening phytochimique .....	25
6.1. Test des composés phénoliques .....	26
6.2. Test des flavonoïdes .....	26
6.3. Test des saponines .....	26
6.4. Test des tanins .....	26
6.5. Test des stéroïdes et triterpène .....	26
6.6. Test des alcaloïdes .....	26

**Chapitre II : résultats et discussion**

<b>1. Résultats .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1. Résultats de l'activité antibactérienne .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1.1. Résultats de l'activité antibactérienne de <i>Zygophyllum album</i>.....</b>	<b>27</b>
<b>1.1.2. Résultats de l'activité antibactérienne de <i>Polygonum aviculare</i>.....</b>	<b>35</b>
<b>1.2. Résultats de la concentration minimale inhibitrice CMI.....</b>	<b>45</b>
<b>1.3. Résultats des analyses quantitatives par dosage spectrophotométrique.....</b>	<b>51</b>
<b>1.3.1. Résultats des polyphénols totaux et des flavonoïdes.....</b>	<b>51</b>
<b>1.4. Résultats de screening phytochimique.....</b>	<b>54</b>
<b>2. Discussion .....</b>	<b>56</b>
<b>2.1. Activité antibactérienne.....</b>	<b>56</b>
<b>2.2. Dosage des polyphénols et des flavonoïdes.....</b>	<b>58</b>
<b>2.3. Screening phytochimique.....</b>	<b>59</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>60</b>

**Références bibliographiques**

**LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1.</b> Structure de base des flavonoïdes .....	7
<b>Figure 2.</b> Structures chimiques de quelques alcaloïdes.....	9
<b>Figure 3.</b> Structures des différents types de coumarines .....	10
<b>Figure 4.</b> <i>Polygonum aviculare</i> .....	15
<b>Figure 5.</b> La fleur et les graines de <i>P. aviculare</i> . .....	16
<b>Figure 6.</b> Description botanique de la plante <i>Zygophyllum album</i> . .....	18
<b>Figure 7.</b> Broyage des plantes récoltées (photographie personnelle). .....	20
<b>Figure 8.</b> Les étapes de préparation des extraits (photographie personnelle). .....	22
<b>Figure 9.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' <i>Escherichia coli</i> en fonction des deux extraits de <i>Zygophyllum album</i> .....	27
<b>Figure 10.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> . .....	28
<b>Figure 11.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en fonction des deux extraits de <i>Zygophyllum album</i> . .....	28
<b>Figure 12.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis de <i>P. aeruginosa</i> . .....	29
<b>Figure 13.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 en fonction des deux extraits de <i>Zygophyllum album</i> . .....	29
<b>Figure 14.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> ATCC 25922. ....	30
<b>Figure 15.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853 en fonction des deux extraits de <i>Zygophyllum album</i> . .....	30
<b>Figure 16.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis de <i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853 .....	31
<b>Figure 17.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603 en fonction des deux extraits de <i>Zygophyllum album</i> . .....	31
<b>Figure 18.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis de <i>K. pneumoniae</i> ATCC 700603. ....	32
<b>Figure 19.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> en fonction des deux extraits de <i>Zygophyllum album</i> . .....	32
<b>Figure 20.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis de <i>K. pneumoniae</i> . .....	33

## Liste des figures

---

<b>Figure 21.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 27923 en fonction des deux extraits de <i>Zygothymus album</i> .....	33
<b>Figure 22.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis de <i>S. aureus</i> ATCC 27923.....	34
<b>Figure 23.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' <i>Escherichia coli</i> 301 en fonction des deux extraits de <i>Zygothymus album</i> .....	34
<b>Figure 24.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>Z. album</i> vis-à-vis d' <i>E.coli</i> 301.....	35
<b>Figure 25.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' <i>Escherichia coli</i> 301 en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	35
<b>Figure 26.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P. aviculare</i> vis-à-vis d' <i>E.coli</i> 301.....	36
<b>Figure 27.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 27923 en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	36
<b>Figure 28.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P. aviculare</i> vis-à-vis de <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 27923.....	37
<b>Figure 29.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' <i>Escherichia coli</i> en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	37
<b>Figure 30.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P. aviculare</i> vis-à-vis d' <i>Escherichia coli</i> .....	38
<b>Figure 31.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	38
<b>Figure 32.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P. aviculare</i> vis-à-vis de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	39
<b>Figure 33.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' <i>E.coli</i> ATCC 25922 en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	39
<b>Figure 34.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P.aviculare</i> vis-à-vis de <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.....	40
<b>Figure 35.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	40
<b>Figure 36.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P.aviculare</i> vis-à-vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> .....	41
<b>Figure 37.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853 en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> .....	41

## Liste des figures

---

<b>Figure 38.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P.aviculare</i> vis-à-vis de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853. ....	<b>42</b>
<b>Figure 39.</b> La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603 en fonction des deux extraits de <i>Polygonum aviculare</i> . ....	<b>43</b>
<b>Figure 40.</b> Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de <i>P.aviculare</i> vis-à-vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603. ....	<b>43</b>
<b>Figure 41.</b> Résultats de CMI de l'extrait méthanolique de <i>Z. album</i> . ....	<b>46</b>
<b>Figure 42.</b> Résultats de CMI de l'extrait éthanolique de <i>Z.album</i> . ....	<b>47</b>
<b>Figure 43.</b> Résultats de CMI de l'extrait méthanolique de <i>P. aviculare</i> . ....	<b>48</b>
<b>Figure 44.</b> Résultats de CMI de l'extrait éthanolique de <i>P.aviculare</i> . ....	<b>49</b>
<b>Figure 45.</b> La concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits de <i>P.aviculare</i> et <i>Z.album</i> vis-à-vis des souches bactériennes sensibles. ....	<b>50</b>
<b>Figure 46.</b> Droite d'étalonnage de l'acide gallique. ....	<b>52</b>
<b>Figure 47.</b> Droite d'étalonnage de la quercétine. ....	<b>53</b>
<b>Figure 48.</b> Résultats des tests phytochimiques des plantes <i>P. aviculare</i> et <i>Z. album</i> . ....	<b>55</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1.</b> Classification de <i>Polygonum aviculare</i> .....	<b>15</b>
<b>Tableau 2.</b> Classification botanique de <i>Zygophyllum album L</i> .....	<b>19</b>
<b>Tableau 3.</b> La souche bactérienne à Gram (+) étudiée et leur référence .....	<b>21</b>
<b>Tableau 4.</b> Les souches bactériennes à Gram (-) étudiées et leurs références .....	<b>21</b>
<b>Tableau 5.</b> L'activité antibactérienne de différents extraits de plantes.....	<b>44</b>
<b>Tableau 6.</b> Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique de <i>Z.album</i> vis-à-vis des souches sensibles.....	<b>45</b>
<b>Tableau 7.</b> Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique de <i>Z. album</i> vis-à-vis des souches sensibles .....	<b>47</b>
<b>Tableau 8.</b> Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique de <i>P.aviculare</i> vis-à-vis des souches sensibles .....	<b>48</b>
<b>Tableau 9.</b> Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique de <i>P. aviculare</i> vis-à-vis des souches sensibles.....	<b>49</b>
<b>Tableau 10.</b> Dosage des polyphénols et des flavonoïdes des extraits de <i>Polygonum aviculare</i> et <i>Zygophyllum album</i> .....	<b>53</b>
<b>Tableau 11.</b> Résultats des tests phytochimiques des plantes étudiées. ....	<b>54</b>

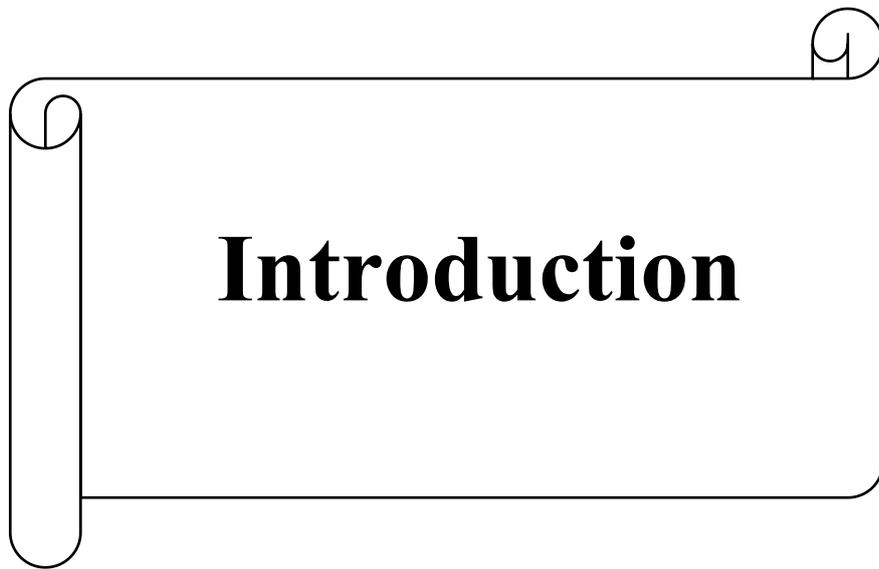
## Liste des abréviations

---

---

### LISTE DES ABREVIATIONS

<b>AlCl<sub>3</sub></b> :	Chlorure d'aluminium.
<b>ATCC</b> :	American type culture collection.
<b>C°</b> :	Degré Celsius.
<b>CH<sub>3</sub>COOK</b> :	Acétate de potassium.
<b>CK2</b> :	Caséine kinase-2.
<b>CMI</b> :	Concentration minimal inhibitrice.
<b>DMSO</b> :	Di-méthylsulfoxyde.
<b>FeCl<sub>3</sub></b> :	Chlorure ferrique.
<b>Gram +</b> :	Gram positif.
<b>Gram -</b> :	Gram négatif.
<b>HCl</b>	Acide chlorhydrique.
<b>H<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub></b> :	Acide phosphomolybdique.
<b>H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub></b> :	Acide phosphotungstique.
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> :	Acide sulfurique.
<b>Mg</b> :	Milligramme.
<b>MH</b> :	Muller Hinton.
<b>Nm</b> :	Nanomètre.
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b> :	Carbonate de sodium.
<b>NH<sub>4</sub>OH</b> :	Hydroxyde d'ammonium.
<b>OMS</b> :	Organisation Mondiale de la Santé.
<b>Redox</b> :	Oxydation et réduction.
<b>µl</b> :	Microlitre.
<b>µg EAG/g Es</b> :	Microgramme d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait sec.
<b>µg EQ/g Es</b> :	Microgramme d'équivalent de quercétine par milligramme d'extrait sec.



### Introduction

Les maladies infectieuses constituent un sérieux problème de santé publique aussi bien dans les pays en développement où elles sont la principale cause de taux de mortalité élevés, que dans les pays industrialisés où les résistances aux antibiotiques existants se développent de façon alarmante (**OMS, 1999**). Cette situation se détériore davantage à cause de l'émergence continue de nouvelles souches de bactéries pathogènes et la réapparition de maladies étant considérées, jusqu'alors, disparues. Étant donné que ces maladies infectieuses sont en constante évolution, la science et la médecine doivent évoluer au même rythme pour y faire face (**Jawerth, 2020**).

De plus, au cours des vingt dernières années, de nombreux déterminants de résistance ont été identifiés avec l'émergence de bactéries de plus en plus résistantes. Aucune espèce bactérienne connue et aucun antibiotique ne sont aujourd'hui à l'abri de la résistance. La découverte de nouvelles molécules antibiotiques pour remplacer les antibiotiques conventionnels est devenue alors désormais une nécessité absolue, en particulier face à la menace des germes multi-résistants (**Barchan et al., 2016**). En effet, de nombreuses bactéries sont devenues résistantes aux antibiotiques à large spectre de l'arsenal pharmaceutique (**OMS, 2005**). De ce fait, la connaissance des plantes et l'étude de leurs propriétés et de leurs effets thérapeutiques se révèlent une nécessité primordiale pour découvrir de nouveaux principes actifs pouvant annoncer une révolution de la médecine (**Bellakhdar, 1997**). En effet, les plantes médicinales et la médecine traditionnelle jouent un rôle important pour la santé des populations dans plusieurs pays (**Adjanohoun et Aké-Assi, 1979**). Elles constituent une source importante de soins de santé dans le monde et la demande mondiale est de plus en plus croissante (**Hamilton, 2004 ; Srivastava, 2000**). Elles sont également utilisées pour leur propriété antimicrobienne qui est l'une des activités biologiques connues chez les plantes médicinales et aromatiques (**Mehalaine, 2018**).

Cependant, en tant que sources de médicaments, les plantes restent encore sous-exploitées, surtout dans le domaine de la microbiologie médicale (**Mohammedi, 2013**). Selon l'Organisation mondiale de la santé, près de 80 % des populations dépendent de la médecine traditionnelle pour leurs soins de santé primaires (**OMS, 2002**). La croissance démographique et l'inaccessibilité aux médicaments modernes dans les pays en développement contribuent à l'augmentation de la demande pour les médicaments traditionnels (**Augustinos et Giilah, 2005**). En Afrique, cette demande est non seulement la résultante de l'inaccessibilité des installations modernes de soins de santé et des coûts élevés de la médecine conventionnelle, mais aussi de la médecine traditionnelle qui est très souvent considérée comme une méthode de traitement plus appropriée (**Marshall, 1998**).

---

## Introduction

---

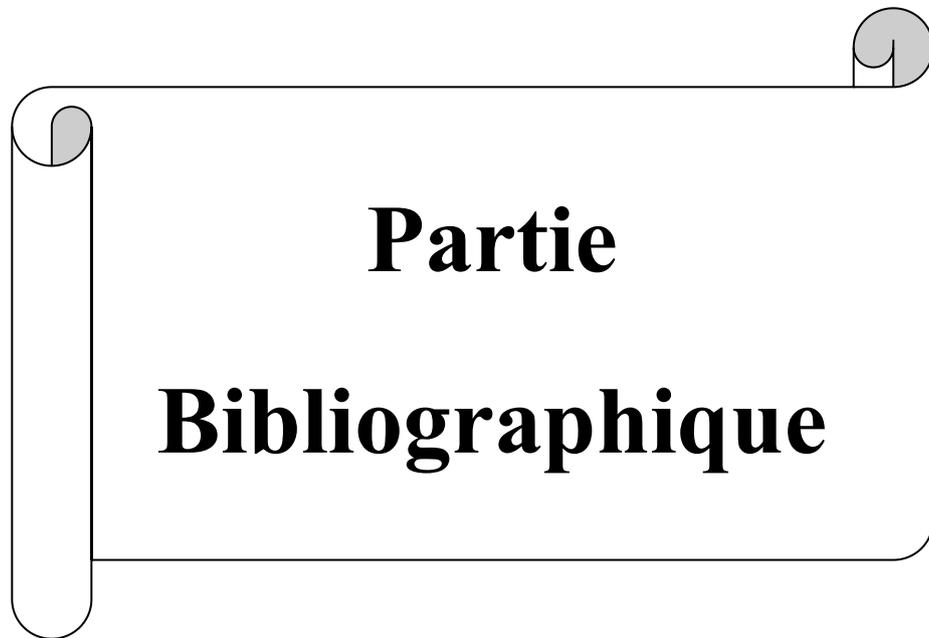
L'Algérie, grâce à sa diversité de climats, de sols, de reliefs et de situations géographiques, présente une flore de 3 510 espèces, dont 450 sont répertoriées dans les hauts plateaux et le grand sud du pays (**Yamina, 2017**).

*Zygophyllum album*, connu sous le nom d'Aggia est une plante saharienne appartient au genre *Zygophyllum*, à la famille des *Zygophyllaceae*. La population locale en Algérie l'utilise pour le traitement de divers problèmes de santé tels que les maladies de peau, la diarrhée, le diabète et les caries dentaires (**Hadjadj et al., 2022**). Des recherches approfondies ont été menées afin d'évaluer l'effet antimicrobien des huiles essentielles et des extraits, qui ont montré la capacité d'inhiber la croissance de divers microorganismes pathogènes (**Ayatollahi-Moosavi et al., 1996**).

*Polygonum aviculare*, également connu sous le nom de Renouée appartient au genre *Polygonum*, à la famille des *Polygonaceae*. Ce genre comprend environ 300 espèces réparties dans le monde (**Wang et al., 2005**). Les infusions préparées à partir de l'herbe de *P. aviculare* ont été traditionnellement utilisées dans le traitement des troubles des voies respiratoires supérieures ainsi qu'en usage externe comme remède contre les affections cutanées (**Wichtl, 2004**). Des études antérieures ont montré que des extraits de *P. aviculare* possèdent une activité anti-inflammatoire *in vitro* (**Tunon et al., 1995**).

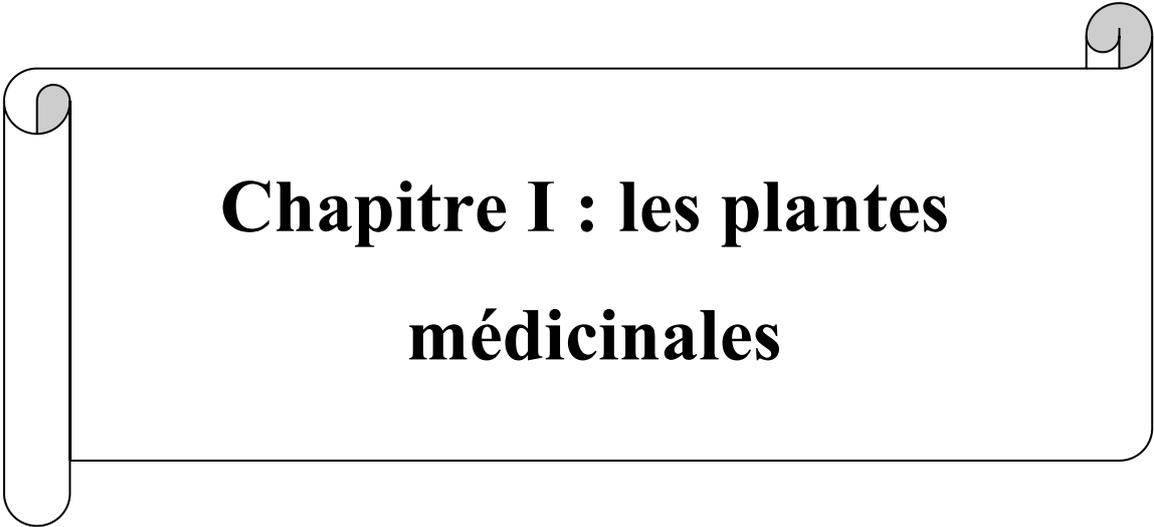
Dans cette optique, l'objectif de la présente étude est de :

- Evaluer de l'activité antibactérienne des extraits méthanoliques et éthanoliques de *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album* récoltées dans l'Algérie.
- Quantifier par spectrophotométrie les polyphénols totaux et les flavonoïdes totaux.
- Réaliser une analyse phytochimique des deux plantes étudiées.



**Partie**

**Bibliographique**



**Chapitre I : les plantes  
médicinales**

### 1.1. Définition des plantes médicinales

Une plante médicinale est une plante qui, dans un ou plusieurs de ses organes, contient des substances pouvant être utilisées à des fins thérapeutiques ou qui sont des précurseurs de la synthèse d'un médicament utile (**Sofowora et al., 2013**). Les propriétés médicinales dérivées des plantes peuvent provenir de différentes parties d'une plante telles que la racine, l'écorce, la tige, les feuilles, la fleur et les graines (**Dhruba et al., 2024**).

Dans la Pharmacopée, une plante médicinale est une drogue végétale dont au moins une de ses parties possède des propriétés médicamenteuses (**Bureau, 2016**). On qualifie une plante médicinale lorsqu'elle est inscrite à la pharmacopée et que son utilisation est exclusivement médicinale, c'est-à-dire que les plantes sont présentées pour leurs propriétés préventives ou curatives à l'égard des maladies humaines ou animales (**Chabrier, 2010**).

### 1.2. Histoire et importance des plantes médicinales

Pendant des milliers d'années, les plantes médicinales ont été utilisées dans diverses cultures du monde comme une modalité thérapeutique sûre dont il existe de nombreuses preuves provenant de diverses sources : documents écrits, monuments préservés et même plantes médicinales originales (**Khan, 2014**). La prise de conscience de l'utilisation des plantes médicinales est le résultat de nombreuses années de lutte contre les maladies grâce auxquelles l'homme a appris à rechercher des médicaments dans les écorces, les graines, les corps fruitiers et d'autres parties des plantes. La science contemporaine a reconnu leur action active et a inclus dans la pharmacothérapie moderne une gamme de médicaments d'origine végétale, connus des civilisations anciennes et utilisés tout au long des millénaires (**Petrovska, 2012**).

Les plantes médicinales ont joué un rôle essentiel dans le développement de la culture humaine. En tant que source de médicaments, les plantes médicinales sont considérées comme des ressources riches en médecines traditionnelles et de nombreux médicaments modernes sont produits à partir de ces plantes. Pendant des milliers d'années, elles ont été utilisées pour traiter les troubles de santé, ajouter de la saveur et conserver les aliments, ainsi que pour prévenir les épidémies de maladies (**Dar et al., 2017**).

### 1.3. Utilisation des plantes médicinales

Aujourd'hui, l'efficacité de la médecine par les plantes médicinales est reconnue et démontrée scientifiquement. Leurs bienfaits incontestables pour notre santé et leur dimension naturelle ont

permis à la phytothérapie d'entrer dans notre vie au quotidien, ainsi, elle offre diverses méthodes de préparation des plantes médicinales selon l'usage que l'on veut en faire (**Chaachouay, 2020**).

- **Infusion**: l'infusion consiste à porter l'eau potable à ébullition, puis à la verser sur la quantité préconisée de plante convenablement divisée, et la laissée infuser 10 à 15 minutes dans un récipient fermé (**Borzeix et Borzeix, 1986**).
- **Décoction** : cette méthode s'applique essentiellement aux parties souterraines de plante et aux écorces, qui libèrent difficilement leurs principes actifs lors d'une infusion. Elle consiste à extraire les propriétés des plantes en les laissant infuser dans l'eau qu'on porte à ébullition, laisser refroidir et filtrer (**Nogaret, 2011**).
- **Macération** : c'est l'immersion d'une plante dans l'eau froide, du vin, de l'alcool, cette solution permet d'obtenir les principes solubles dans un temps plus ou moins long (**Valnet, 1983**).
- **Cataplasme** : les plantes sont coupées grossièrement, puis chauffer avec un peu d'eau, pendant 2 à 3 minutes, presser les plantes puis les placer sur l'endroit douloureux à l'aide d'un morceau ou d'une bande (**Nogaret, 2011**).
- **Teinture** : elle est définie comme étant de préparation liquide généralement obtenue par extraction hydro-alcoolique de la drogue fraîche ou séchée. Le titre alcoolique est compris entre 60°C et 90°C en fonction de la nature de la substance à dissoudre. Les drogues utilisées en phytothérapie sont diluées au cinquième (une partie de drogue pour 5 parties de solvant d'extraction). Il existe des teintures diluées au dixième pour les drogues à alcaloïdes. (**Raynaud, 2006**).
- **Poudre** : les plantes préparées sous forme de poudre obtenue par pulvérisation dans un mortier ou dans un moulin peuvent s'utiliser pour un soin interne ou externe (**Delille, 2007**).
- **Sirop** : les sirops phytothérapeutiques sont confectionnés en associant une solution sucrée ou du miel à un extrait liquide de plante. Outre l'amélioration de l'acceptabilité du goût de la préparation, le sucre joue également le rôle de conservateur (**Fougère et Wynn, 2007**).
- **Gélule** : est une forme récente de prise d'un traitement phytothérapeutique avec des enveloppes 100% végétales, elle permet une haute concentration de produits actifs avec des poudres micronisées ou des nébulisas. La quantité de plante dans une gélule est limitée à 500/750 mg de plante séchée, ce qui peut nécessiter la prise d'un nombre important de gélules (**Létard et al., 2015**).

#### 1.4. Domaines d'applications des plantes médicinales

Les plantes médicinales comme tous les végétaux sont employées dans diverses applications telles que l'alimentation, les épices, les additifs, les plantes ornementales, les plantes toxiques, les pâturages et le fourrage, les produits artisanaux, les boissons, les condiments, les produits cosmétiques, les produits d'hygiène, les applications industrielles, ainsi que dans le domaine vétérinaire. Elles ont de tout temps été employées pendant des siècles comme remèdes pour les maladies humaines et animales parce qu'elles contiennent des composants de valeur thérapeutique, leur pouvoir de guérison provient des effets de leurs métabolites secondaires (**Chaachouay, 2020**).

- **Médecine** : selon les estimations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 80% de la population mondiale, surtout dans les pays en voie développement, ont recours aux traitements traditionnels pour satisfaire leurs besoins en matière de santé et de soins primaires (**OMS, 2002**).
- **Alimentation** : assaisonnement des boissons, des colorants et des composés aromatiques (**Delaveau, 1987**).
- **Agriculture** : les huiles de quelques arbres comme l'arbre Azadirachtaindica (se développe ausubcontinent indien atteint 12 à 18 m de hauteur) ont des utilisations dans l'agriculture dans le contrôle de divers insectes et nématodes (**Amjad, 2005**).
- **Cosmétique**: elles sont appliquées dans les produits de beauté, les parfums, les articles de toilette et les produits d'hygiène (**Bahorun, 1997**).

#### 1.5. Les principes actifs des plantes médicinales

Les effets de certaines plantes sont bien connus. Cependant, ce n'est que récemment que les éléments actifs à l'origine des actions thérapeutiques des plantes ont été isolés et étudiés. De ce fait, il est indispensable de connaître la composition des plantes pour comprendre comment elles agissent sur l'organisme (**Iserin, 2001**).

La pharmacognosie aussi appelée, l'étude des principes actifs de plantes, permet d'approcher la composition de ces dernières et d'essayer de comprendre leurs actions thérapeutiques. Leur étude permet d'orienter le choix vers une plante pour une maladie donnée (**Chaachouay, 2020**). Le métabolisme des plantes peut être classé en voies métaboliques primaires et secondaires (**El Mtiai, 2023**).

### 1.5.1. Les métabolites primaires

Les métabolites primaires dits indispensables sont des molécules organiques qui se trouvent dans toutes les cellules de l'organisme d'une plante pour y assurer sa survie. Ce sont des molécules composées de macronutriments tels que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Ils sont classés en quatre grandes catégories : les glucides, les protides, les lipides et les acides nucléiques (**Chaachouay, 2020**).

### 1.5.2. Les métabolites secondaires

C'est des molécules complexes à l'origine de l'activité thérapeutique des plantes médicinales (**El Mtiai, 2023**), ce sont généralement des composés organiques et sont produits par la modification de métabolites primaires. Contrairement aux métabolites primaires, les métabolites secondaires ne sont produits qu'en petites quantités, leur extraction à partir de la plante est difficile et ils ne font pas partie de la structure moléculaire de base de la cellule (**Chaachouay, 2020**). Parmi ces métabolites :

#### 1.5.2.1. Les polyphénols

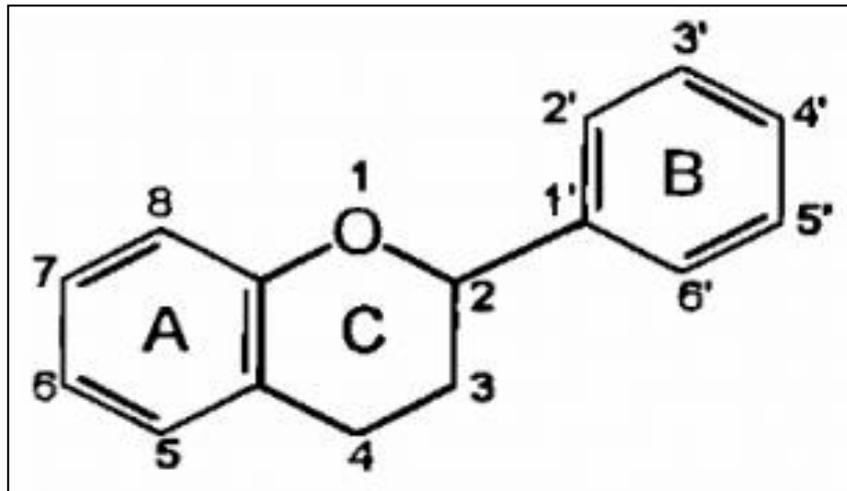
Parmi les principales classes de composés phénoliques des végétaux, on trouve les acides phénoliques. Le terme "acides phénoliques" décrit généralement les composés phénoliques ayant un groupe acide carboxylique (**El Mtiai, 2023**). Il existe une grande diversité de phénols, allant des composés simples tels que l'acide salicylique, jusqu'à des substances plus complexes telles que les composés phénoliques qui comprennent les glucosides (**Iserin, 2001**). Les acides phénoliques ont pris de l'ampleur en raison de leurs immenses avantages pour la santé alimentaire et de leurs fonctionnalités telles que les activités anti-oxydantes, anti-inflammatoires, immunorégulatrices, anti-allergiques, anti-athérogènes, antimicrobiennes, anti-thrombotiques, cardioprotectrices, anticancéreuses et antidiabétiques. Ces métabolites secondaires aromatiques qui confèrent la couleur, la saveur, l'astringence et l'âpreté, contribuent également aux caractéristiques organoleptiques typiques des aliments (**Rashmi et Negi, 2020**).

Les polyphénols sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) à des proportions variables (**Lugasi et al., 2003**).

#### 1.5.2.2. Les flavonoïdes

Le terme flavonoïde rassemble une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols qui donnent la couleur jaune, orange et rouge aux fruits et aux fleurs (**Bruneton, 1993 ; Létard et al., 2015**). Les flavonoïdes sont des dérivés du noyau flavone ou 2-

phenyl chromone portant des fonctions phénols libres, éthers ou glycosides. Le noyau flavone est lui-même un dérivé du noyau flavane de base (**Figure 1**) (**Bruneton, 1993**).



**Figure 1.** Structure de base des flavonoïdes (**Redrejo-Rodriguez et al., 2004**).

Ils possèdent un certain nombre d'avantages médicaux, notamment des propriétés anticancéreuses, antioxydantes, anti-inflammatoires et antivirales. Ils ont également des effets neuroprotecteurs et cardioprotecteurs. Ces activités biologiques dépendent du type de flavonoïde, de son mode d'action et de sa biodisponibilité (**Ullah et al., 2020**).

### 1.5.2.3. Les tanins

Les tanins sont des substances végétales de la famille des polyphénols, le plus souvent hydrosolubles, d'origine végétale et qui possèdent la capacité de précipiter les protéines, les alcaloïdes et les polysaccharides à partir de leur solution aqueuse (**Bruneton, 2009**). Ils sont très répandus dans le règne végétal et peuvent exister dans divers organes, mais on note une accumulation plus particulièrement dans les tissus âgés ou d'origines pathologiques, ils sont localisés généralement dans les vacuoles (**Catier et Roux, 2007**).

Chimiquement, les tanins sont souvent divisés en deux groupes principaux : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Hussein et El-Anssary, 2019**). Au cours des dernières décennies, cette classification chimique a été mise à jour. Ils peuvent être actuellement divisés en cinq catégories principales : Gallotanins, ellagitanins, tanins complexes, tanins condensés et phlorotanins (**Fraga-Corral et al., 2020**). Les médicaments contenant des tanins peuvent agir comme antidiarrhéiques, antiseptiques urinaires et antidotes en cas d'empoisonnement par des métaux lourds et des alcaloïdes (**Hussein et El-Anssary, 2019**).

#### 1.5.2.4. Les saponines

Les saponines doivent leur nom au fait que, comme le savon, elles produisent de la mousse en contact avec l'eau (**Iserin, 2001**). Ces molécules sont fréquemment présentes au niveau des racines, des tiges, des feuilles et des graines ou des fruits de végétaux supérieurs (**Hostettmann et Marston, 1995**).

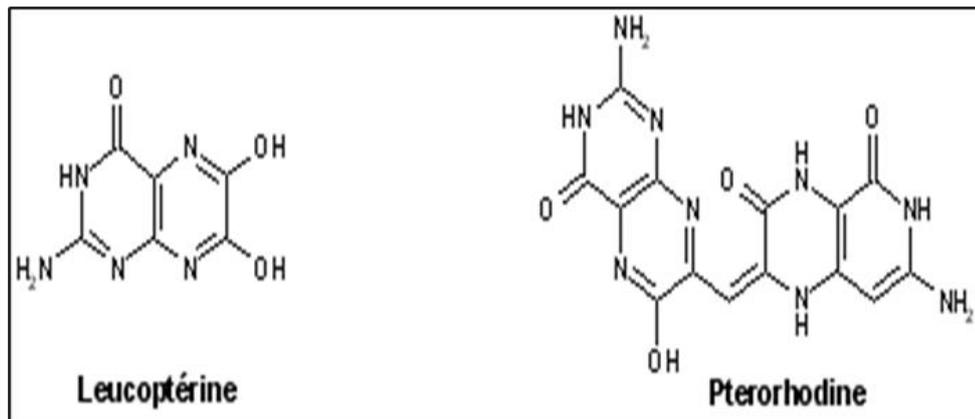
- **Propriétés pharmacologiques**

D'une manière générale, les propriétés détergentes de génines à saponifier ont été exploitées très précocement par l'homme sur tous les continents. Ainsi les saponines :

- Ont des propriétés antimicrobiennes et antifongiques.
- Modifient la tension superficielle de l'eau.
- Abaissent la tension superficielle de liquide et augmentent la perméabilité des parois et détruisent les hématies par hémolyse (c'est-à-dire les saponines ont des propriétés hémolytiques).
- Sont toxiques pour les animaux sans foie surtout les poissons, chez l'homme et les mammifères. Sauf exception, elles n'ont qu'une toxicité assez faible par voie orale mais nettement plus marquée lorsqu'ils sont administrés par voie parentale.
- Certaines sont anti-inflammatoires.
- La tradition leur attribue les propriétés expectorante et antitussive.
- On les emploie pour la fabrication d'émulsions dans lesquelles une substance insoluble est mise en dispersion.
- Dissolvent les graisses et par voies de conséquence, elles sont irritantes pour les muqueuses (**Bruneton, 2009**).

#### 1.5.2.5. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont, effectivement, des sortes d'alcalis qui fournissent avec les acides des sels souvent bien cristallisés. Ils forment un groupe, hétérogène et en perpétuelle extension, de principes organiques azotés d'origine végétale, plus ou moins basiques, parfois complexes, donnant lieu à des réactions chimiques communes et manifestant une activité physiologique remarquable. (**Figure 02**) (**Bézanger-Beauquesne, 1958**).



**Figure 2.** Structures chimiques de quelques alcaloïdes (Mauro, 2007)

La classification établie sur la biogénèse divise les alcaloïdes en trois principaux types : les alcaloïdes vrais, les protoalcaloïdes et les pseudoalcaloïdes. Les alcaloïdes vrais et les protoalcaloïdes sont produits à partir des acides aminés, alors que les pseudoalcaloïdes ne sont pas dérivés de ces composés (Dey *et al.*, 2020). Les alcaloïdes peuvent être extraits des différentes parties des plantes (les feuilles, les racines, l'écorce de la tige et les fruits.) en utilisant différents solvants tels que l'éthanol, le méthanol et le chloroforme (Agidew, 2022).

Plusieurs travaux ont montré l'intérêt des alcaloïdes qui peuvent posséder des activités antispasmodique, anticancéreuse, laxative, antirhumatismale et analgésique (Zirihi *et al.*, 2005 ; Zirihi *et al.*, 2007 ; N'Guessan *et al.*, 2009).

#### 1.5.2.6. Les quinones

Les quinones sont des composés oxygénés qui résultent de l'oxydation de dérivés aromatiques caractérisés par un motif 1,4-dicétocyclohexa-2,5-diéniq (para-quinones) ou par un motif 1,2-dicétocyclohexa-3,5-diéniq (ortho-quinones). La dione peut être conjuguée aux doubles liaisons d'un noyau benzénique (benzoquinones) ou à celles d'un système aromatique polycyclique condensé : naphthalène (naphthoquinones), anthracène (anthraquinones), naphthodianthrène (naphthodianthrone) (Krief, 2003 ; Bruneton, 2009).

- **Propriétés pharmacologiques**

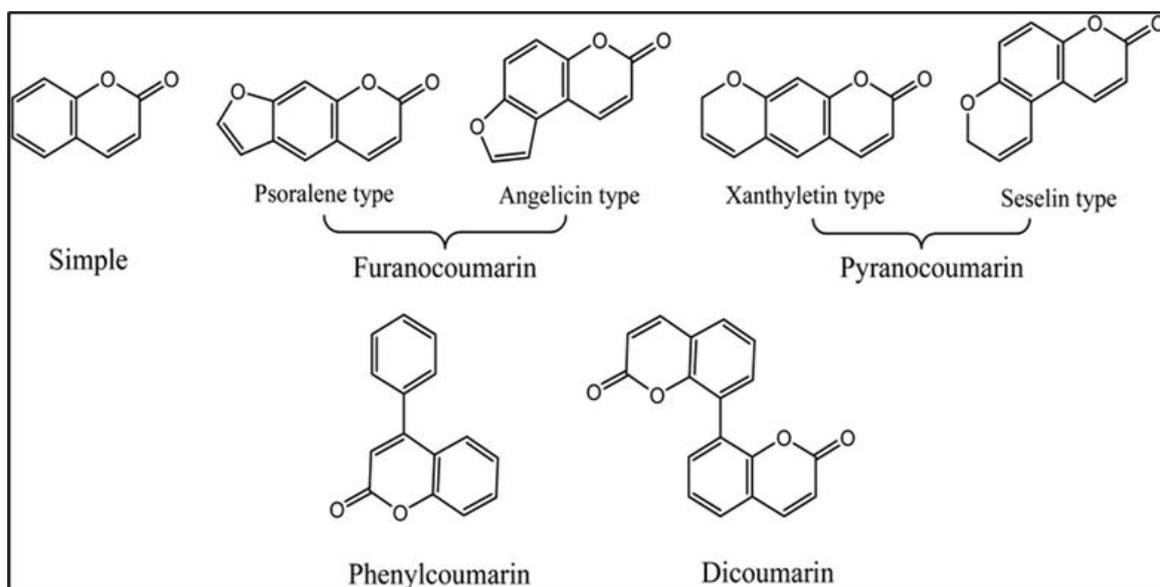
- Beaucoup de naphtha quinones sont antibactériennes et fongicides, certaines sont toxiques.
- Les anthraquinones sont douées de propriétés tardives, de nombreuses Benzoquinones et naphtha quinones ont un pouvoir allergique et ils sont induisant des dermites par sensibilisation.
- Les quinones ont une grande importance technique (colorants) et biochimique (catalyseurs redox dans les cellules) (Levisalles et Jozefowicz, 1974).

- On synthétise les quinones à l'aide de différentes méthodes, selon leurs structures.
- La Benzoquinone s'obtient par oxydation des amines aromatiques ou des phénols. L'oxydation de la naphthaline et des polycycles aromatiques plus volumineux donne directement des quinones (**Hammond et al., 1968 ; Clément, 1969**).

### 1.5.2.7. Les coumarines

Les coumarines sont des composés hétérocycliques naturels très intéressants de par leurs structures et leurs activités biologiques (**Önder, 2020**). Les coumarines d'origine naturelle sont principalement regroupées en six types : coumarines simples, furanocoumarines, pyranocoumarines, dihydro-furanocoumarines, phénylcoumarine et bicoumarines (**Cazin et al., 2020**). Ils se trouvent dans de nombreuses espèces végétales et possèdent des propriétés très diverses (**Bruneton, 2009**).

Les coumarines naturelles ont démontré un large spectre d'activités pharmacologiques, notamment anti-inflammatoires, anticoagulantes, anticancéreuses, antibactériennes, antipaludéennes, inhibitrices de la caséine kinase-2 (CK2), antifongiques, antivirales, inhibitrices de la maladie d'Alzheimer, neuroprotectrices, anticonvulsivantes, phytoalexines, ulcérogènes et antihypertensives (**figure 03**) (**Sharifi-Rad et al., 2021**).



**Figure 3.** Structures des différents types de coumarines (**Cazin et al., 2020**).

### 1.5.2.8. Les stéroïdes et triterpènes

Les terpènes et les stéroïdes constituent sans doute le plus vaste ensemble connu de métabolites secondaires des végétaux (**Bruneton, 2009**). Les triterpènes sont des composés constitués de trois ou six unités isoprènes et ont la formule chimique  $C_{30}H_{48}$ . Ils sont dérivés de la voie de biosynthèse du squalène et comprennent les stéroïdes et les stérols. Ils sont largement

répandus dans la nature, on peut les trouver dans les champignons, les fougères, les plantes supérieures, les animaux et les organismes marins (Perveen, 2018). Les stéroïdes peuvent être considérés comme des triterpénoïdes ayant perdus au maximum 3 méthyles. Ils constituent une classe importante des composés biologiques tels que : les stérols proprement dit, les hormones corticosurrénales et sexuelles, les aglycones (Delaunay, 1988). Le cholestérol est le plus représentatif des stérols il donne naissance à la majorité des stéroïdes (Jacques Folo, 2014).

### 1.6. Les activités biologiques des plantes médicinales

L'étude des activités biologiques des substances bioactives des plantes médicinales se trouve à la base des médecines dites alternatives afin de traiter et soigner plusieurs maladies, ces plantes médicinales possèdent plusieurs activités biologiques, parmi lesquelles on peut citer les activités fongicide, insecticide, herbicide, bactéricide, antioxydante...etc. (Hammoudi, 2015 ; Goudjil, 2016).

#### 1.6.1. L'activité antibactérienne

Un agent antimicrobien est une substance d'origine synthétique ou naturelle, utilisée pour la destruction ou l'inhibition de la croissance de micro-organismes, notamment des bactéries (Courvalin et al., 1990).

L'activité antibactérienne correspond à l'activité d'une molécule ou d'un composé présent au sein d'un végétal qui, à très faible concentration, inhibe le développement d'une bactérie ou la tue. La sensibilité d'une bactérie à un antibactérien varie selon la nature de l'antibactérien (Nicolas et Daniel, 1998). Face à l'apparition de formes résistantes de plusieurs bactéries à certains antibiotiques, la recherche de nouvelles molécules actives et à large spectre d'action est devenue une nécessité (Haddouchi et al., 2013). Une des stratégies pour cette recherche consiste à explorer les plantes utilisées en médecine traditionnelle (Chaouche et al., 2013).

Les extraits de plantes possèdent plusieurs modes d'action sur les différentes souches bactériennes, ils sont efficaces contre un large spectre de microorganismes pathogènes et non pathogènes mais d'une manière générale leur action se déroule en trois phases :

- Attaque de la paroi bactérienne par l'extrait végétal en provoquant une augmentation de la perméabilité puis la perte des constituants cellulaires (Dorman, 2000).
- Acidification de l'intérieur de la cellule, bloquant la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure (Dorman, 2000).
- Destruction du matériel génétique, conduisant ainsi à la mort de la bactérie (Dorman, 2000).

Lorsque l'on parle d'activité antibactérienne, on distingue deux sortes d'effets :

- Une activité létale (bactéricide), c'est la propriété de tuer les bactéries dans des conditions définies (**Hammer, 1999**).
- Une inhibition de la croissance (bactériostatique), c'est l'inhibition momentanée de la multiplication d'une population (**Hammer, 1999**).

### 1.6.2. L'activité anti-oxydante

Ces dernières années, l'intérêt porté aux antioxydants naturels en relation avec leurs propriétés thérapeutiques a augmenté considérablement. Des recherches scientifiques dans diverses spécialités ont été développées pour l'extraction, l'identification et la quantification de ces composés à partir de plusieurs substances naturelles à savoir les plantes médicinales (**Sánchez-Moreno, 2002 ; Popovici et al., 2009**).

Un antioxydant est défini comme toute substance ayant la capacité de retarder, prévenir ou réparer un dommage oxydatif d'une molécule cible (**Halliwell et Gutteridge, 2007**). Ainsi, les antioxydants servent à contrôler le niveau des espèces réactives pour minimiser le dommage oxydatif (**Tang et Halliwell, 2010**). Suivant leurs mécanismes d'action les antioxydants peuvent être classés en trois types :

#### Les antioxydants de type I

L'action des antioxydants de type I repose sur leur capacité à inactiver les radicaux libres. Ils inhibent la propagation des réactions radicalaires en fournissant des hydrogènes aux radicaux libres présents (**Belaiche, 1979**).

#### Les antioxydants de type II

Ce type d'antioxydant prévient la formation des radicaux libres et peut intervenir par différents mécanismes. Les flavonoïdes rentrent dans cette catégorie d'antioxydants. Ils agissent en piégeant les radicaux libres et en complexant les métaux pro-oxydants (**Roeding-Penman et Gordon, 1998**).

#### Les antioxydants de type III

Ils regroupent les facteurs de l'environnement qui ont une action anti-oxydante en agissant sur le potentiel redox du milieu, la température, la pression en oxygène et la lumière.

L'efficacité des antioxydants peut être augmentée par l'utilisation d'un mélange d'antioxydants de type I et II. L'association de ces deux types d'antioxydants permet d'inhiber les phases d'initiation et de propagation de l'oxydation des lipides (**Frankel, 1998**).

### 1.6.3. L'activité anti-inflammatoire

L'inflammation est un processus de défense immunitaire de l'organisme en réponse à une agression d'origine exogène ou endogène qui a pour but d'éliminer l'agent pathogène, réparer les lésions tissulaires et favoriser le retour à l'homéostasie et à la cicatrisation du tissu lésé (**Iwalewa et al., 2007 ; Barton, 2008 ; Hotamisligil, 2017**).

Pour le traitement de l'inflammation, il existe de nombreux anti-inflammatoires de synthèse et des antibiotiques qui sont disponibles, mais ils présentent plusieurs effets indésirables. Cependant, les médicaments à base de substances naturelles sont moins toxiques, et les microorganismes sont moins résistants à ces substances (**Farahpour et Habibi, 2012**). En raison de ces problèmes iatrogènes, il est impérieux d'orienter la recherche de nouveaux agents thérapeutiques anti-inflammatoires vers les plantes médicinales qui constituent une source potentielle de molécules naturelles anti-inflammatoires (**John et al., 2021**).

Les anti-inflammatoires naturelles ou végétales sont celles qui existent dans la nature qui ne subissent pas de modification de la structure chimique après les procédés de leur obtention. Plusieurs travaux ont été réalisés sur les substances naturelles d'origine végétale dotées de propriétés anti-inflammatoires grâce à la présence des molécules naturelles bioactives permettant de traiter certaines maladies inflammatoires (**Bourkhiss, 2010**).

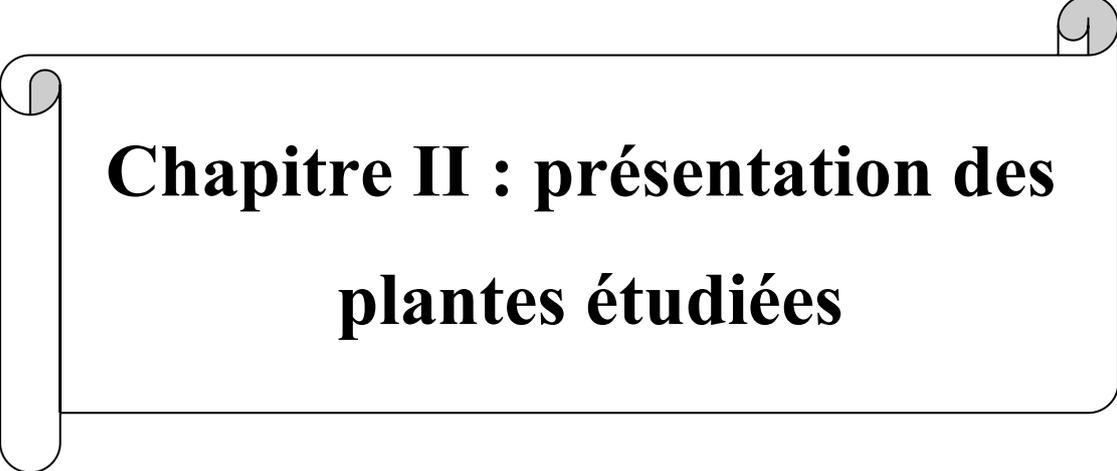
Au cours de la dernière décennie, plusieurs études utilisant des modèles *in vitro* et *in vivo* de l'inflammation ont conduit à l'identification de plusieurs plantes ainsi que des composés actifs ayant des activités anti-inflammatoires. Environ 47 plantes et 52 molécules extraites de plantes ont été prouvées par des études cliniques et précliniques d'être bénéfiques le traitement de l'inflammation pour (**Maione et al., 2016**).

### 1.6.4. L'activité anticancéreuse

La découverte de médicaments à partir de plantes médicinales a joué un rôle important dans le traitement du cancer. En effet, la plupart des nouvelles applications cliniques des métabolites secondaires des plantes et de leurs dérivés au cours des cinquante dernières années ont été appliquées à la lutte contre le cancer (**Balunas et Kinghorn, 2005**).

**1.7. Les risques des plantes médicinales**

- Le premier risque est la toxicité des plantes, les plantes médicinales peuvent, comme tout médicament, se révéler toxiques dès lors qu'elles sont ingérées en quantité trop importante.
- Le traitement par les plantes peut aussi conduire à une interaction avec certains médicaments.
- Autre risque qui n'est pas à exclure : la falsification des plantes médicinales volontaire ou involontaire qui peut entraîner des conséquences sérieuses pour l'utilisateur (**Chabrier, 2010**).
- Enfin, l'intoxication, ce genre de problème suite à une prise de végétaux est toujours possible, un produit peut être mal utilisé par le patient, sur une trop longue période ou avec une mauvaise indication peu causée des intoxications (**Chabrier, 2010**).



## **Chapitre II : présentation des plantes étudiées**

## 2.1. L'espèce *Polygonum aviculare*

### 2.1.1. Généralités

*Polygonum aviculare* appelée aussi « la Renouée des oiseaux », est une plante herbacée annuelle. Elle possède des petites feuilles alternes et lancéolées, sa racine est pivotante, tandis que ses fleurs sont blanches-vertes (**Figure 04**) (**Baiba, 2015**). Le nom du genre vient des mots grecs "poly" qui signifie nombreux et "gonum" qui signifie articulation ou genou, en référence aux tiges clairement articulées. Les premiers botanistes ont probablement observé la dispersion des graines par les oiseaux, car l'épithète spécifique "aviculare" signifie en latin "des oiseaux" (**Habibi et al., 2011**). Elle s'accommode de tous les types de sol et de tous les climats (**Bibard, 2010**).



**Figure 4.** *Polygonum aviculare* (photographie personnelle).

### 2.1.2. Classification

La classification de l'espèce *Polygonum aviculare* est représentée dans le tableau 01.

**Tableau 1.** Classification de *Polygonum aviculare* (**Holm et al., 1979 ; Meerts, 1995**).

<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Embranchement</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Classe</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Ordre</b>	<i>Polygonales</i>
<b>Famille</b>	<i>Polygonaceae</i>
<b>Genre</b>	<i>Polygonum</i>
<b>Espèce</b>	<i>Polygonum aviculare</i>

### 2.1.3. Caractéristiques botaniques

*Polygonum aviculare* (Renouée) est un membre de la famille des *Polygonacées*. Les espèces du genre *Polygonum* se caractérisent par des hauteurs variées (de 5 cm jusqu'à 3-4 m) (**Chin-Yuan et al., 2007 ; Narasimhulu et al., 2014**). Ce sont des plantes vertes, nettement hétérophylles, mais souvent dépourvues des plus grandes feuilles basales à maturité. Les tiges sont 1-3, ascendantes, dressées ou décombantes, les branches basales sont divergentes, longues de 10 à 100 cm. Les ochrées mesurent 6 à 12 mm de long, avec la partie libre argentée, bientôt lacérée et se désintégrant en fibres. Les limbes des feuilles sont verts, elliptiques à oblancéolés, les apices sont aigus ou obtus. Le système racinaire se compose d'une région dense de racines secondaires horizontales réparties dans la couche supérieure de 15 à 25 cm de sol (**Costea et Tardif, 2004**). Les cymes ont 3 à 8 fleurs bisexuées et sont regroupées aux extrémités des tiges et des branches (**Costea et Tardif, 2005**). La plante fleurit de juin à septembre (**Baiba, 2015**). Les tépales se chevauchent latéralement, les 3 tépales extérieurs sont oblongs, plats mais devenant cucullés à maturité, verts avec des marges roses, rouges ou blanches, les veines des tépales sont ramifiées et épaissies. Les akènes sont bruns à brun foncé, trigones, ovales et ils sont rares en fin de saison (**Figure 05**) (**Costea et Tardif, 2005**).



**Figure 5.** La fleur et les graines de *P. aviculare* ([www.tela-botanica.org](http://www.tela-botanica.org))

### 2.1.4. Distribution

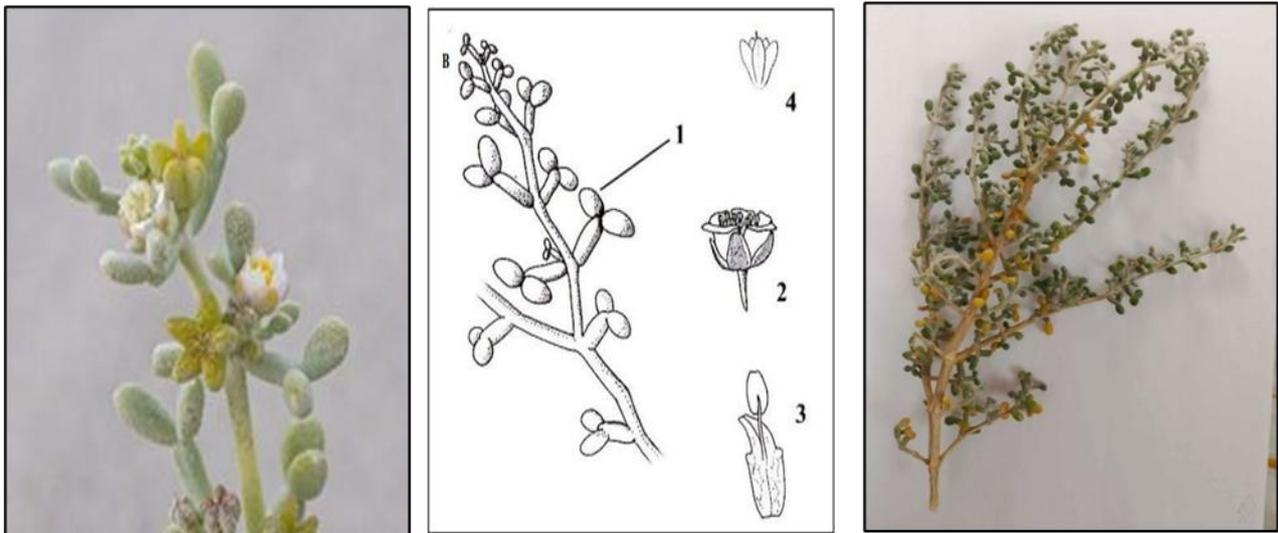
Le genre *Polygonum* comprend environ 300 espèces réparties dans le monde entier, couramment distribuée dans les régions côtières méditerranéennes notamment en Europe, en Asie, en Afrique du Nord, en Amérique du Nord et introduites également en Amérique du Sud (**Salama et Marraiki, 2010 ; Baiba, 2015**). Elles sont largement réparties géographiquement dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées (**Budel et al., 2007**).

### 2.1.5. Usage traditionnelle

*Polygonum aviculare* est exploitée depuis longtemps comme plante médicinale d'importance mineure (Fogelfors, 1984). Elle est largement utilisée comme remède à base de plantes et à sa monographie en tant que matériel végétal pharmaceutique. Dans la Pharmacopée européenne, les infusions préparées à partir de l'herbe de *P. aviculare* ont été traditionnellement utilisées dans le traitement des troubles des voies respiratoires supérieures ainsi qu'en usage externe comme remède contre les affections cutanées (Wichtl, 2004). Elle a été étudiée pour ses activités antimicrobiennes sur plusieurs microorganismes, y compris les bactéries et les champignons (Salama et Marraiki, 2010). Des études antérieures ont montré que des extraits de *P. aviculare* possèdent une activité anti-inflammatoire *in vitro* (Tunon et al., 1995). Traditionnellement, elle a été utilisée pour traiter plusieurs maladies, telles que l'ulcère gastrique, l'ulcère duodénal, les hémorragies, la diarrhée et les hémorroïdes (Sung et al., 2013). Scientifiquement, il a été rapporté que les extraits alcooliques de *P. aviculare* possèdent des activités pharmacologiques telles que des activités antioxydantes (Hsu, 2006), des effets anti-obésité (Sung et al., 2013), des activités antimicrobiennes (Salama et Marraiki, 2010), des effets anti-inflammatoires (Tunon et al., 1995), des effets anti-gingivite (González et al., 2001), effet antifibrotique (Nan et al., 2000), ainsi que des effets anticancéreux (Habibi et al., 2011).

### 2.2. L'espèce *Zygophyllum album* L

*Zygophyllum album* L. connu sous le nom "Agga" ou "Aggaya" dans le dialecte algérien vernaculaire, est une herbe pérenne (20-50 cm de hauteur), avec des tiges ramifiées et des feuilles succulentes bifoliolées opposées (Souddi et Bouallala, 2023), le pétiole et la brochure sont cylindriques ou ovoïdes. La longueur du pétiole variait de 0,6 à 1,2 cm tandis que celle de la brochure atteint 3 à 8 mm (Figure 06) (Elhalim et al., 2016).



**Figure 6.** Description botanique de la plante *Zygodhylum album*.

1. Les feuilles 2. Les fleurs 3. Étamine 4. Les fruits (Hillisse, 2007).

### 2.2.1. Généralités

*Zygodhylum album* appartient à la famille des *Zygodhylumacées*, une famille répandue d'herbes, de sous-arbustes, de buissons et d'arbres qui poussent dans des habitats arides et salins dans toutes les régions chaudes du monde, en particulier dans les déserts sèches saisonniers des tropiques et des subtropicales (Sheahan et Chase, 1996). Cette famille comprend environ 25 genres et 240 espèces (Shawky et al., 2019).

Le genre *Zygodhylum* se compose de 100 espèces réparties dans des habitats de désert et de steppe de la Méditerranée à l'Asie centrale, l'Afrique du Sud et l'Australie. La plupart des plantes du genre *Zygodhylum* sont de petites herbes pérennes avec des feuilles et des fleurs chaudes (Shawky et al., 2019). En Algérie, les *Zygodhylumacées* sont représentées par trois genres principaux : *Fagonia*, *Zygodhylum* et *Tribulus* (Souddi et Bouallala, 2023).

### 2.2.2. Classification

La classification de la plante *Zygophyllum album* L est montrée dans le **tableau 2**.

**Tableau 2.** Classification botanique de *Zygophyllum album* L (**Boumaza, 2009 ; Awaad et al., 2012**).

<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Embranchement</b>	<i>Spermaphytes</i>
<b>Sous-Embranchement</b>	<i>Angiospermes</i>
<b>Classe</b>	<i>Dicotylédones</i>
<b>Sous-classe</b>	<i>Rosidae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Zygophyllale</i>
<b>Famille</b>	<i>Zygophylaceae</i>
<b>Sous-famille</b>	<i>Zygophylloideae</i>
<b>Genre</b>	<i>Zygophyllum</i>
<b>Espèce</b>	<i>Zygophyllum album</i> L

### 2.2.3. Distribution

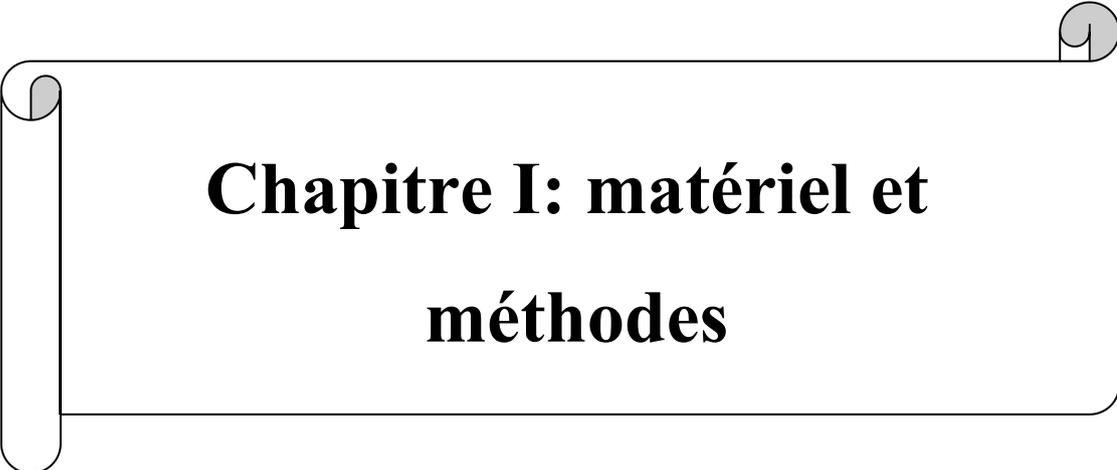
Elle est distribuée à travers le Sahara d'Afrique du Nord à la péninsule arabique et l'Afrique orientale tropicale. Elle a une large répartition géographique en Egypte et est commun dans les marais salants et au sec dans les bandes côtières de la méditerranée et la mer rouge (**White, 1986 ; Chehema, 2006**). Elle se rencontre en pieds isolés dans les zones sableuses un peu salées et en colonies sur de grandes surfaces sur sols salés et des sebkha (**Chehema, 2006**).

### 2.2.4. Usage traditionnelle

En Algérie, *Zygophyllum album* est utilisée pour traiter le diabète, la dermatite, les spasmes, la dysménorrhée (**Smati et al., 2004**). Les feuilles, les tiges et les fruits de cette plante sont utilisés dans la médecine populaire tunisienne comme un médicament actif contre les rhumatismes, la goutte et l'asthme. Elle est également utilisée comme diurétique, anesthésique local, antihistaminique et agent antidiabétique (**Mnafgui et al., 2012**).



## **Partie expérimentale**



**Chapitre I: matériel et  
méthodes**

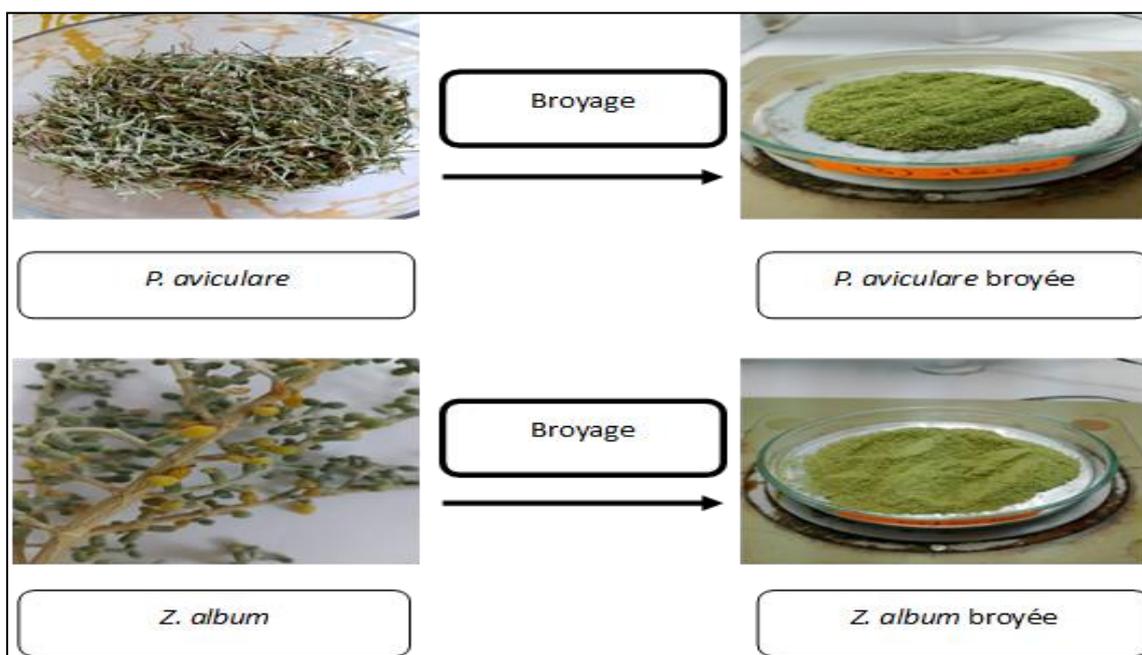
## 1. Matériel

### 1.1. Matériel végétal

Les échantillons de plantes utilisés proviennent du *Polygonum aviculare* (partie aérienne), collectée dans la région de Khenchela en février 2024, et du *Zygophyllum album* (partie aérienne), collectée dans la région de Sidi-Oukba à Biskra en mars 2024. L'authentification de ces plantes a été effectuée par Dr. Zeraib, département d'agronomie, Université Abbès Laghrour de Khenchela.

#### 1.1.1. Séchage et broyage des plantes

Après la récolte du matériel végétal, les plantes ont été nettoyées pour éliminer toute poussière et impuretés avant d'être séchées à l'air libre, à l'abri du soleil pendant plusieurs jours. Une fois séchées, elles ont été finement broyées en une poudre uniforme à l'aide d'un moulin électrique. La matière végétale broyée a ensuite été tamisée pour obtenir une poudre fine. Les poudres obtenues sont conservées dans des bocaux en verre fermés hermétiquement, stockés à température ambiante dans un lieu sec à l'abri de l'humidité et de la lumière jusqu'à leur utilisation en laboratoire (**Figure 07**).



**Figure 7.** Broyage des plantes récoltées (photographie personnelle).

### 1.2. Matériel microbien

#### 1.2.1. Les souches bactériennes utilisées

L'évaluation de l'activité antibactérienne a été réalisée sur un ensemble 8 souches de bactéries souvent associées à différentes maladies (4 souches de références et 4 souches cliniques). Les

souches bactériennes pathogènes de référence testées provenant de l'ATCC (American Type Culture Collection) ainsi que leurs références sont détaillées dans les tableaux 3 et 4.

**Tableau 3.** La souche bactérienne à Gram (+) étudiée et sa référence

Souche	Référence
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 27923

**Tableau 4.** Les souches bactériennes à Gram (-) étudiées et leurs références.

Souche	Référence
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	ATCC 700603

Les souches cliniques utilisées ont été isolées à partir d'échantillons humains. Il s'agit des souches de : *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli* 301.

## 2. Préparation des extraits des plantes étudiées (*Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*)

Les extraits sont préparés à partir de poudres végétales des deux espèces de plantes sélectionnées, *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*, en utilisant deux solvants distincts : le méthanol, l'éthanol selon la méthode décrite par **Basri et Fan. (2005)** avec des modifications mineures :

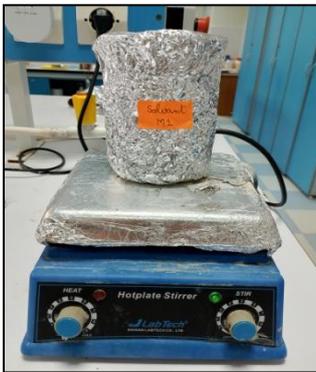
- 20 g de poudre de plante ont été macérés dans 200 ml d'un mélange de solvant à 70% et d'eau à 30%. Ce mélange a été placé dans des béchers, couverts de papier aluminium, et agité pendant 72 heures à l'aide d'un agitateur électrique.
- Suite à l'agitation, le mélange a été filtré en utilisant d'abord une étamine, puis un papier filtre Whatman N°1. Les solutions filtrées ont été ensuite concentrées sous vide individuellement en utilisant un évaporateur rotatif à une température de 40°C.
- Les extraits ont été transférés dans des boîtes de Pétrie en verre étiquetées pour permettre l'évaporation des solvants résiduels à 40°C dans une étuve de séchage pendant 3 à 4 jours.
- Les extraits secs ont été par la suite récupérés par grattage avec une spatule et stockés dans des bouteilles stériles au réfrigérateur à 4°C jusqu'à leur utilisation (**Figure 08**).



20 g de poudre végétale



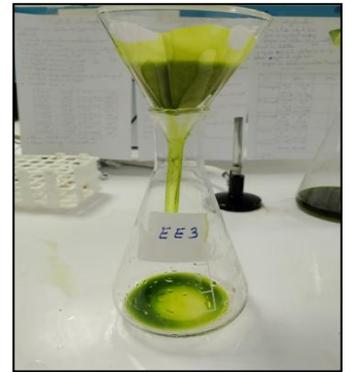
Les solvants 70%



Agitation 72h



Filtration avec un papier filtre



Séchage à 40 C°



Poudre des extraits

Figure 8. Les étapes de préparation des extraits (photographie personnelle).

### 3. Détermination de l'activité antibactérienne

Dans cette partie, nous avons étudié l'effet antibactérien des plantes médicinales *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album* connues pour leurs bienfaits thérapeutiques. Nous avons appliqué la méthode de diffusion en milieu gélosé dans des boîtes de Pétri selon **Valgas et al. (2007)**.

#### 3.1. Préparation des solutions des extraits et de l'inoculum bactérien

Les cultures bactériennes ont étéensemencées selon la méthode des stries sur gélose nutritive inclinée dans des tubes à essai. Ces derniers ont été incubés à l'étuve à une température de 37°C durant 24 heures afin de favoriser la croissance de colonies bactériennes jeunes et séparées. Ensuite, une colonie isolée a été prélevée à l'aide d'une anse de platine et homogénéisée dans 9 ml d'eau physiologique stérile afin d'élaborer des suspensions bactériennes avec une densité optique ajustée à 0.5 Mc Farland. Concernant les extraits végétaux, ils ont été dilués à des concentrations de 200 mg/ml et 100 mg/ml dans du diméthyle sulfoxyde (DMSO), puis mélangés vigoureusement avec un vortex jusqu'à dissolution complète des extraits.

#### 3.2. Ensemencement et dépôts des disques

La méthode de diffusion sur disque a été employée pour évaluer l'activité antibactérienne des différents extraits. À cette fin, des boîtes de Pétri contenant un milieu Mueller-Hinton (MH) ont été inoculées par écouvillonnage. Des disques de 6 mm de diamètre ont ensuite été placés sur la surface du milieu géloséensemencé à l'aide d'une pince stérile. Les disques ont été imprégnés avec 10 µl de solutions à différentes concentrations de l'extrait testé (200 mg/ml, 100 mg/ml). Un disque contenant 10 µl de DMSO a également été placé comme témoin négatif. Les boîtes ont été ensuite fermées et laissées à diffuser à température ambiante pendant 30 minutes et incubées à 37°C pendant 24 heures.

Les expériences ont été répétées trois fois pour garantir la fiabilité des résultats, et le résultat final est exprimé en moyenne arithmétique  $\pm$  l'écart type des trois répétitions.

#### 3.3. Lecture

L'activité antibactérienne a été déterminée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition autour des disques. Pour chaque souche bactérienne après 24 heures d'incubation. La lecture a été réalisée en déposant la boîte sur un fond noir.

Selon **Celikel et Kavas. (2007)** la sensibilité à l'extrait a été classée comme suit :

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre <8mm.
- Sensible (+) : diamètre entre 9 et 14 mm.

- Très sensible (++) : diamètre entre 15 et 19 mm.
- Extrêmement sensible (+++): diamètre > 20mm.

#### 4. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est la plus faible concentration de l'extrait pour laquelle il n'y a pas de croissance visible à l'œil nu après un temps d'incubation de 18 à 24 h. Sa détermination a été faite par observation du trouble induit par la croissance des germes étudiés dans chaque tube (Niass *et al.*, 2015 ; Nafyad et Ameha, 2020).

La CMI pour chaque extrait a été déterminée en utilisant la méthode de dilution en bouillon :

- Des concentrations de (200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25 et 3.125 mg/ml) ont été préparées à partir de chaque extrait.
- Dans sept tubes à essai distincts, 4 ml de bouillon nutritif ont été versés.
- Ensuite, 0.1 ml de chaque dilution de l'extrait a été ajouté au bouillon nutritif.
- Après cela, 0.1 ml d'inoculum de souches ajusté à une densité de 0.5 Mc Farland a été introduit dans chaque tube contenant à la fois le bouillon nutritif et l'extrait.
- Finalement, les tubes ont été incubés à une température de 37 °C pendant 24 heures.

#### 5. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux

##### 5.1. Dosage des polyphénols totaux

###### 5.1.1. Principe

Les polyphénols ont été déterminés par spectrophotométrie selon la méthode de Folin Cioclateu (Singleton *et al.*, 1999). Ce réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Il est réduit lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006).

###### 5.1.2. Manipulation

Dans un tube à essai, on a introduit 2 ml d'eau distillée, 100  $\mu$ l d'extrait et 200  $\mu$ l de réactif de Folin Cioclateu. Ensuite on a ajouté 1 ml de solution de carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$  à 15 %). Le mélange a été agité vigoureusement puis incubé à l'ombre et à température ambiante pendant 2 heures. L'absorbance a été mesurée à 765 nm contre un blanc.

Une courbe d'étalonnage a été préparée en utilisant l'acide gallique comme standard et les résultats ont été exprimés en microgramme d'équivalent d'acide gallique par milligramme de l'extrait sec de la plante ( $\mu\text{g}$  EAG/g Es).

## 5.2. Dosage des flavonoïdes totaux

La méthode du trichlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3$  (Kosalec et al., 2004) avec des modifications mineures qui ont été adoptées pour quantifier les flavonoïdes dans les différents extraits de *Z. album* et *P. aviculare*.

### 5.2.1. Principe

Le dosage des flavonoïdes a été déterminé par spectrophotométrie selon la méthode de Trichlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3$  (Lamaison et al., 1990). Ce dosage colorimétrique est basé sur la formation d'un complexe de couleur jaune résulte de la fixation des ions  $\text{Al}_3^+$  sur les atomes d'oxygène, présents sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (Ribereau-Gayan, 1968). Le chlorure d'aluminium forme ainsi des complexes acides labiles avec les groupes orthodihydroxyl dans le cycle A ou B de flavonoïdes (Chang et al., 2002).

### 5.2.2. Manipulation

Dans un tube à essai on a introduit : 1.4 ml d'eau distillée, 50  $\mu\text{l}$  d' $\text{AlCl}_3$ , 50  $\mu\text{l}$  de  $\text{CH}_3\text{COOK}$ , 250  $\mu\text{l}$  de l'extrait, le mélange a été vigoureusement agité puis incubé à l'ombre à la température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée à 415 nm.

La quantification des flavonoïdes a été effectuée en fonction d'une courbe d'étalonnage réalisée par un flavonoïde standard (la quercétine). La teneur en flavonoïdes a été exprimée en microgramme d'équivalent de quercétine par milligramme de l'extrait sec de la plante ( $\mu\text{g}$  EQ/g Es).

## 6. Screening phytochimique

Les différentes techniques de détection utilisables pour un screening des composés actifs doivent être simples, rapides, reproductibles et sensibles. Ces méthodes sont donc qualifiées pour la détection de quelques groupes chimiques (alcaloïdes, tanins, flavonoïdes, saponines, terpènes, composés réducteurs, etc...). Elles n'ont d'ailleurs qu'une valeur indicative et une affirmation ultérieure par des méthodes plus précises et plus sélectives est indispensable (Wagner et Bladt, 1996).

Chacun des tests a été appliqué aux deux plantes étudiées. Ces tests ont été réalisés selon les méthodes décrites par Harborne. (1998) ; Bruneton. (1999); karumi et al. (2004) ; Rosine et Momo. (2009).

### 6.1. Test des composés phénoliques

0,1g de la poudre sèche de chaque plante a été dissout dans 3ml de méthanol et 5 gouttes de  $\text{FeCl}_3$  à 2 % ont été ajoutées. La présence des composés phénoliques a été caractérisée par l'émergence de la teinte bleue-verdâtre.

### 6.2. Test des flavonoïdes

10 g de poudre sèche ont été placés dans un bécher et ajoutés à 150 ml de HCL dilué (1 %). Le bécher a été recouvert de papier d'aluminium et agité pendant 24 heures. Après cela, le mélange a été filtré et a été soumis aux tests suivants :

Goutte à goutte, on a alcalinisé 10 ml du filtrat en utilisant du  $\text{NH}_4\text{OH}$  à 10 %. La présence des flavonoïdes est confirmée par l'obtention d'un précipité.

### 6.3. Test des saponines

On a agité vigoureusement 5 mg de la poudre sèche avec 10 ml d'eau distillée pendant 2 minutes. Les saponines sont confirmées par l'apparition de mousse qui dure 15 minutes.

### 6.4. Test des tanins

Pour évaluer les tanins, on a placé 2 mg de la poudre sèche dans un tube à essai, puis on a ajouté du réactif de chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$  à 1 %) (0,5 ml). Les tanins sont confirmés par un précipité bleu-noir ou vert foncé.

### 6.5. Test des stéroïdes et triterpène

On a ajouté 0,5 ml d'anhydride acétique à 5 mg de la poudre sèche de chaque plante, en ajoutant 0,5 ml d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). À la suite d'une incubation de 15 minutes, la couleur qui change de violet à bleu ou vert dans certains échantillons indique la présence de stéroïdes et de triterpènes.

### 6.6. Test des alcaloïdes

On a ajouté 1 mg de chaque plante dans un tube à essai et on y a ajouté des gouttes d'acide chlorhydrique dilué à 1 %. Par la suite, on a traité la moitié du volume de mélange avec le réactif de Mayer (0,5 ml) et l'autre portion avec le réactif de Wagner de la même manière. La présence d'alcaloïdes est généralement observée lors de la turbidité ou de la précipitation blanche ou brune avec ces réactifs.



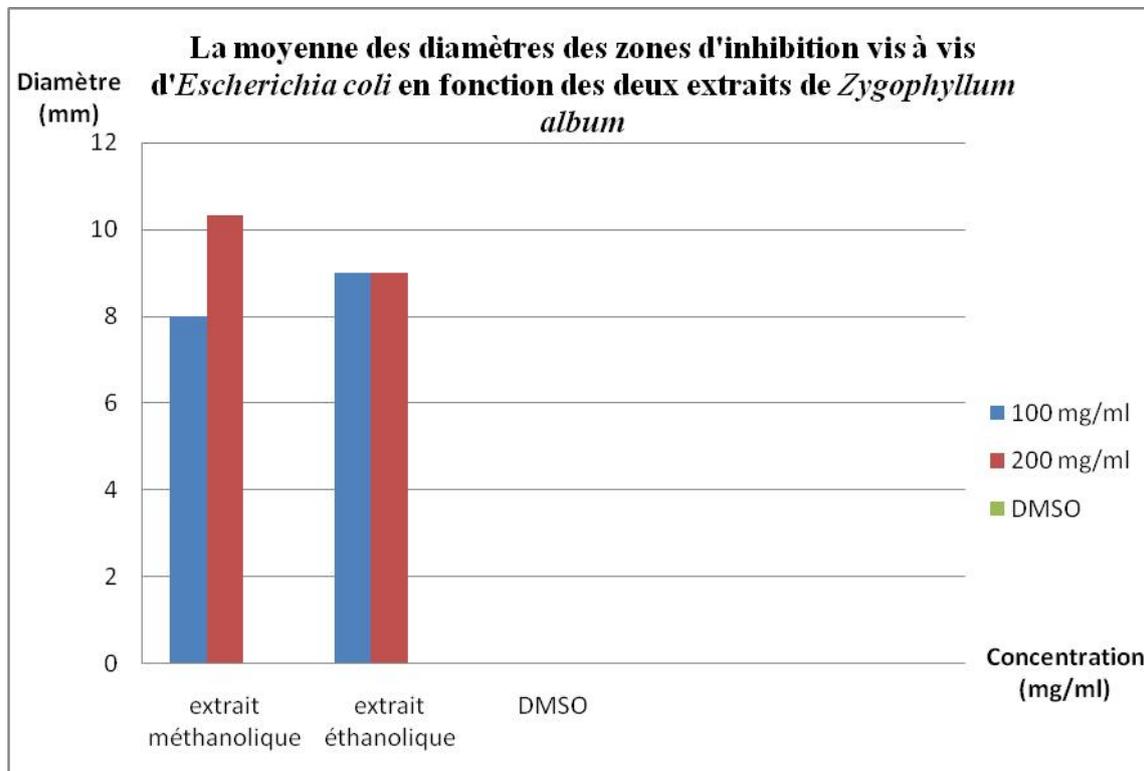
## **Chapitre II : résultats et discussion**

## 1. Résultats

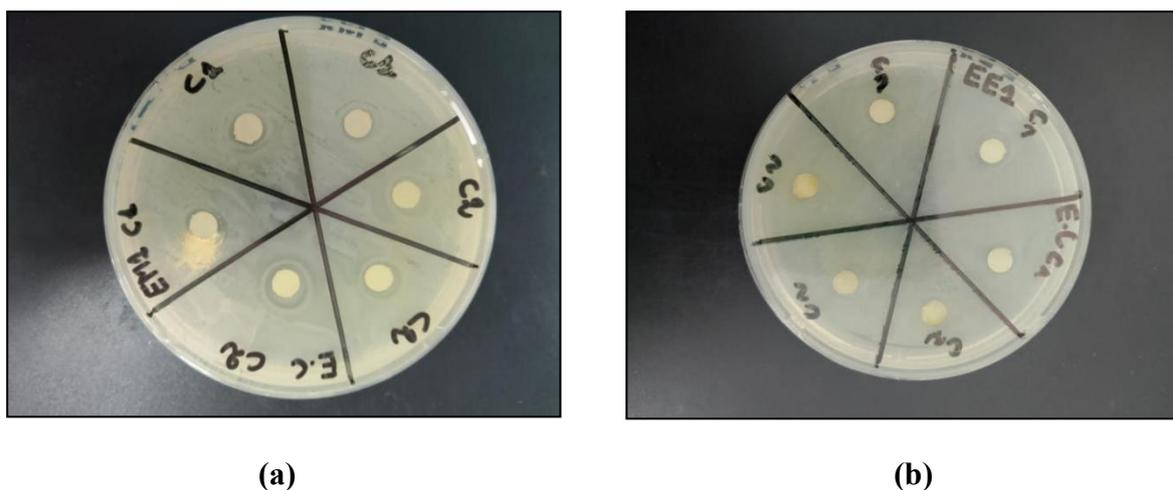
### 1.1. Résultats de l'activité antibactérienne

#### 1.1.1. Résultats de l'activité antibactérienne de *Zygophyllum album*

- Plusieurs études ont examiné l'effet antibactérien des extraits de plantes. Dans cette étude, les extraits méthanoliques et éthanoliques de deux espèces végétales *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album* ont été évalués pour leur activité antibactérienne vis-à-vis de certaines souches bactériennes pathogènes. L'activité antibactérienne a été déterminée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition autour des disques imprégnés des extraits de plantes. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures ci-dessus et résumé dans le **tableau 5**.
- Les résultats de l'étude sur l'activité antibactérienne de l'extraits méthanolique et éthanolique de *Z. album* vis-à-vis d'*E. coli* sont montrés dans les **Figures 9 et 10**. L'analyse de la Figure 10 a révélé que l'extrait méthanolique a montré une activité inhibitrice significative seulement à la concentration de 200 mg/ml avec un diamètre de  $10,33 \pm 1.15$ . Par ailleurs, une faible sensibilité de la souche testée a été observée avec un diamètre enregistré de  $9.00 \pm 00$  mm pour les deux concentrations 100mg/ml et 200 mg/ml del'extrait éthanolique de *Z. album*. Le témoin DMSO était négatif.

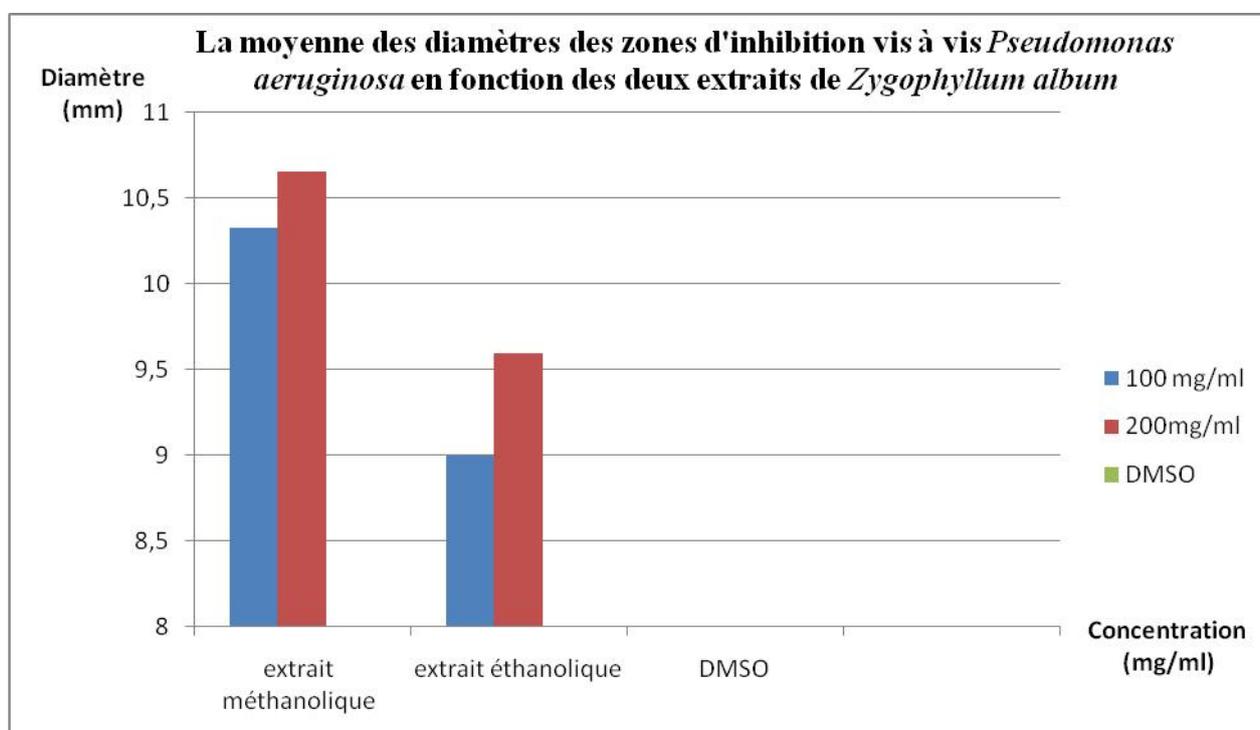


**Figure 9.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis *d'Escherichia coli* en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*

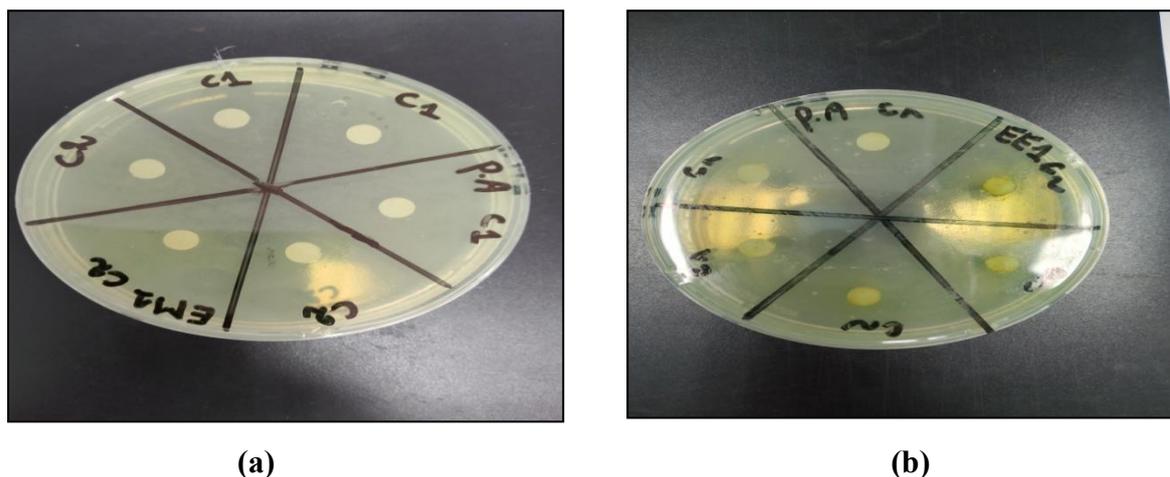


**Figure 10.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *Z. album* vis-à-vis d'*E. coli*.

L'analyse de l'efficacité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *Z. album* a montré une capacité d'inhibition notable à l'égard de *Pseudomonas aeruginosa*, avec des zones d'inhibition de  $10.33 \pm 1.88$  mm et  $10,66 \pm 0.94$  mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement (**Figures 11 et 12**). Cependant, la souche en question a révélé une faible sensibilité à l'extrait éthanolique de *Z. album* avec des diamètres de  $9.00 \pm 00$  mm et  $9,66 \pm 0.47$  mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml, respectivement. Le DMSO était négatif.

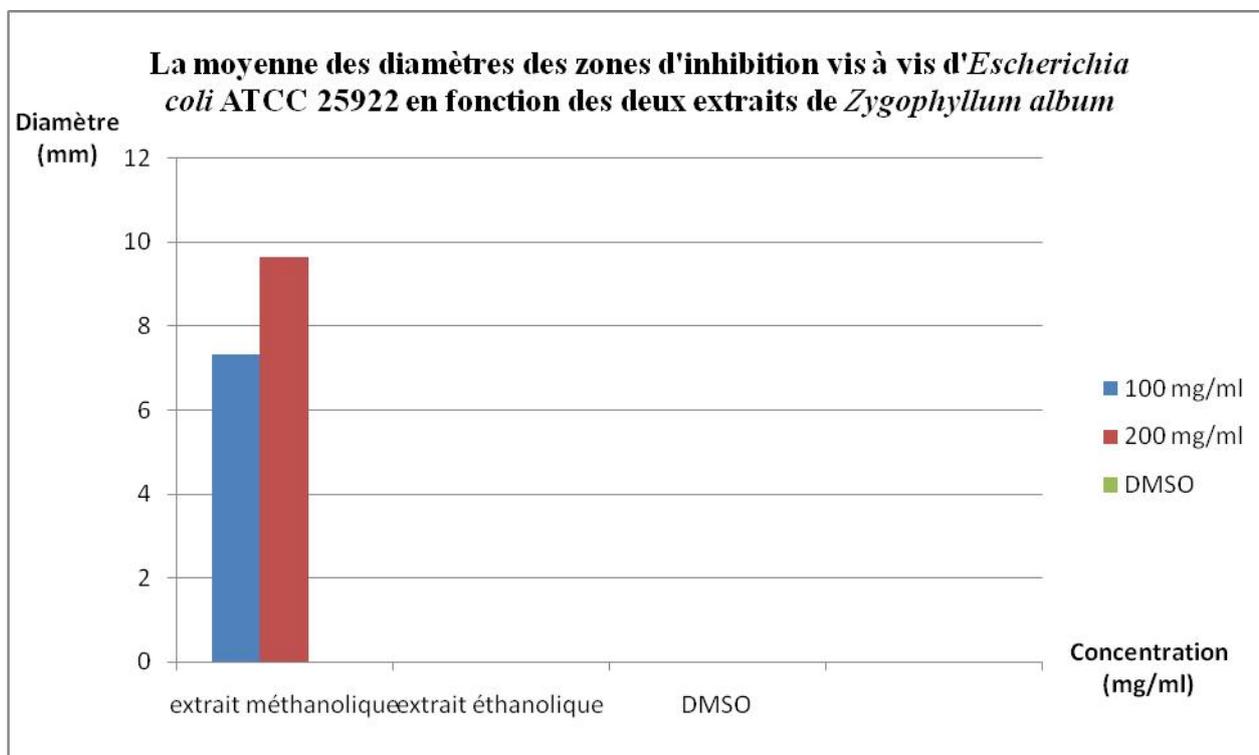


**Figure 11.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Pseudomonas aeruginosa* en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.

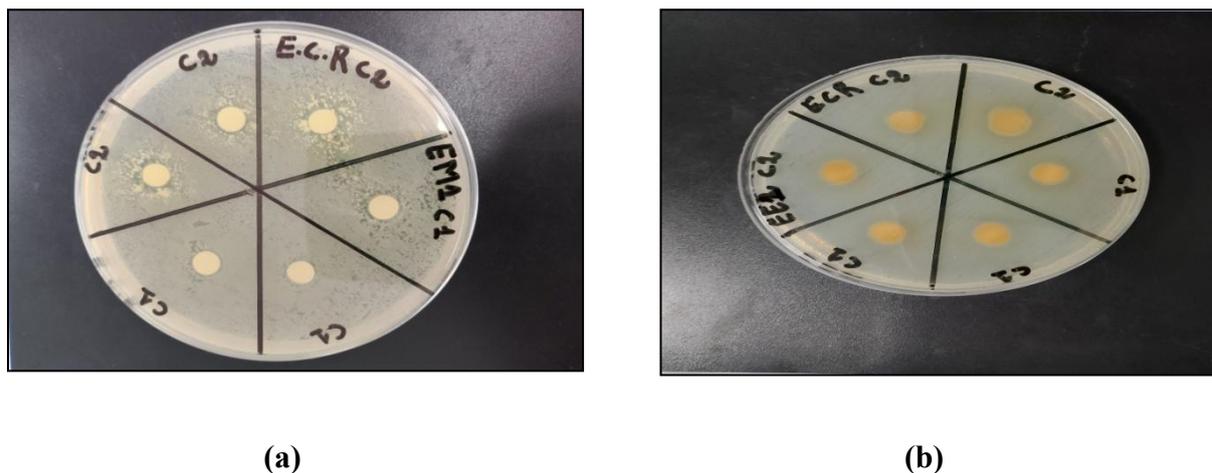


**Figure 12.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *Z. album* vis-à-vis de *P. aeruginosa*.

Selon les **figures 13 et 14**, les résultats indiquent que la souche *E. coli* ATCC 25922 présentait une résistance à l'extrait méthanolique de *Z. album* à la concentration de 100 mg/ml, tandis qu'elle a montré une faible sensibilité avec un diamètre de  $9,66 \pm 0,94$  mm à la concentration de 200 mg/ml. En revanche, aucune activité inhibitrice n'a été observée avec l'extrait éthanolique de *Z. album* à l'égard de la souche testée.

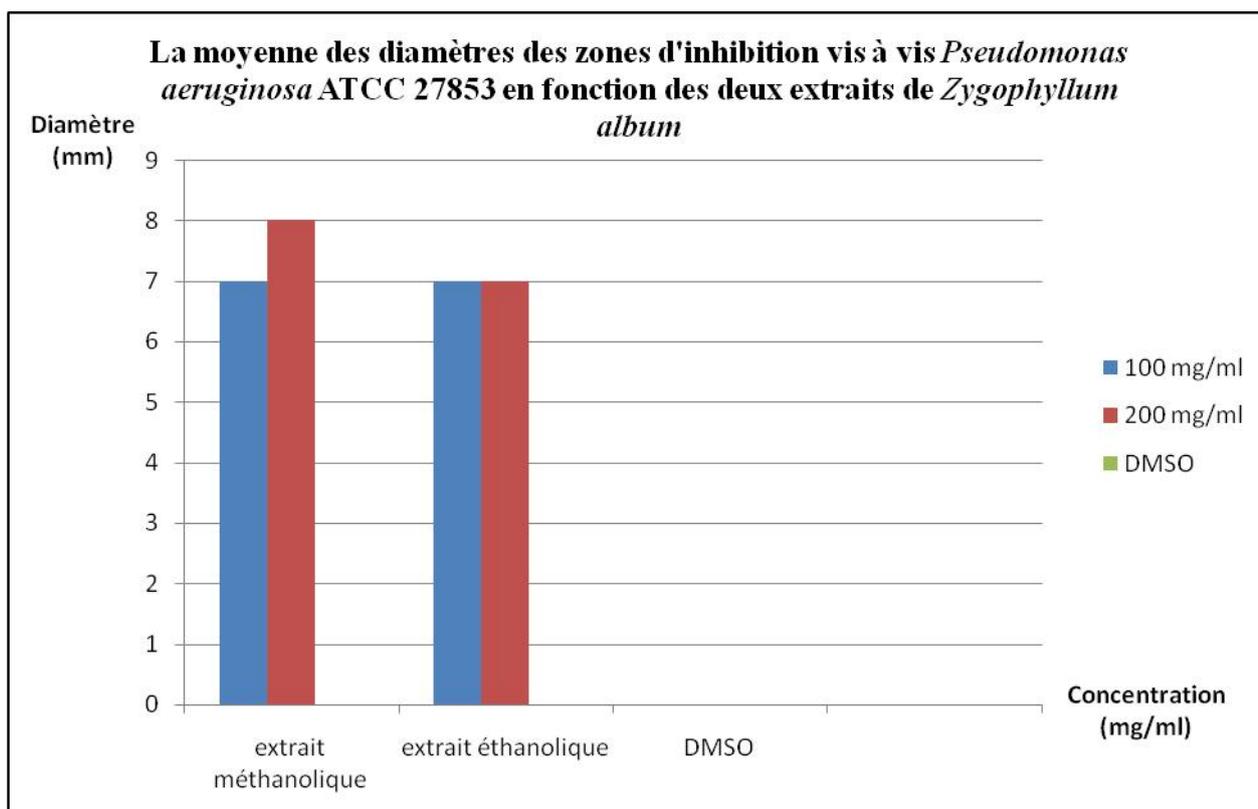


**Figure 13.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d' *Escherichia coli* ATCC 25922 en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.

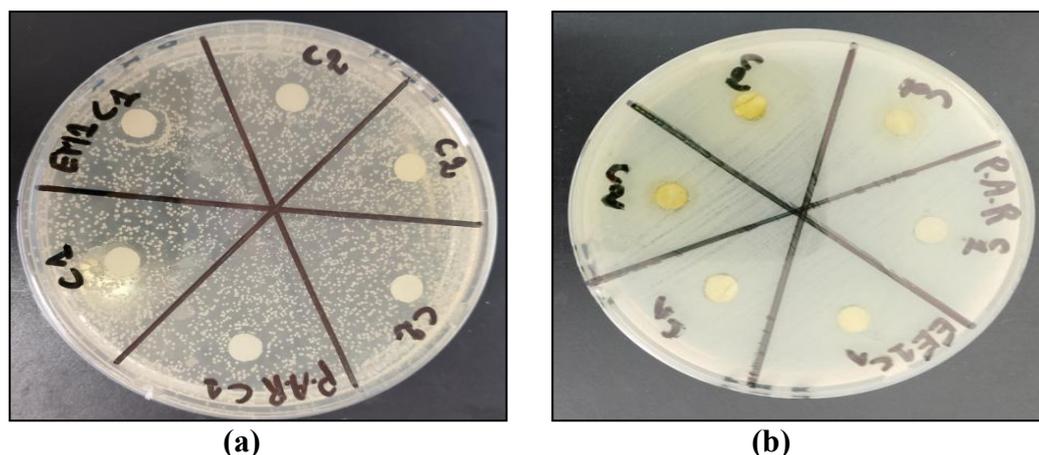


**Figure 14.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolic (b) de *Z. album* vis-à-vis d'*E. coli* ATCC 25922.

L'examen des résultats illustrés dans la **Figure 15** et la **Figure 16** révèlent que la souche *P. aeruginosa* ATCC 27853 présentait une résistance aux deux extraits éthanolic et méthanolique de *Z. album* pour les deux concentrations. Le DMSO était toujours négatif.

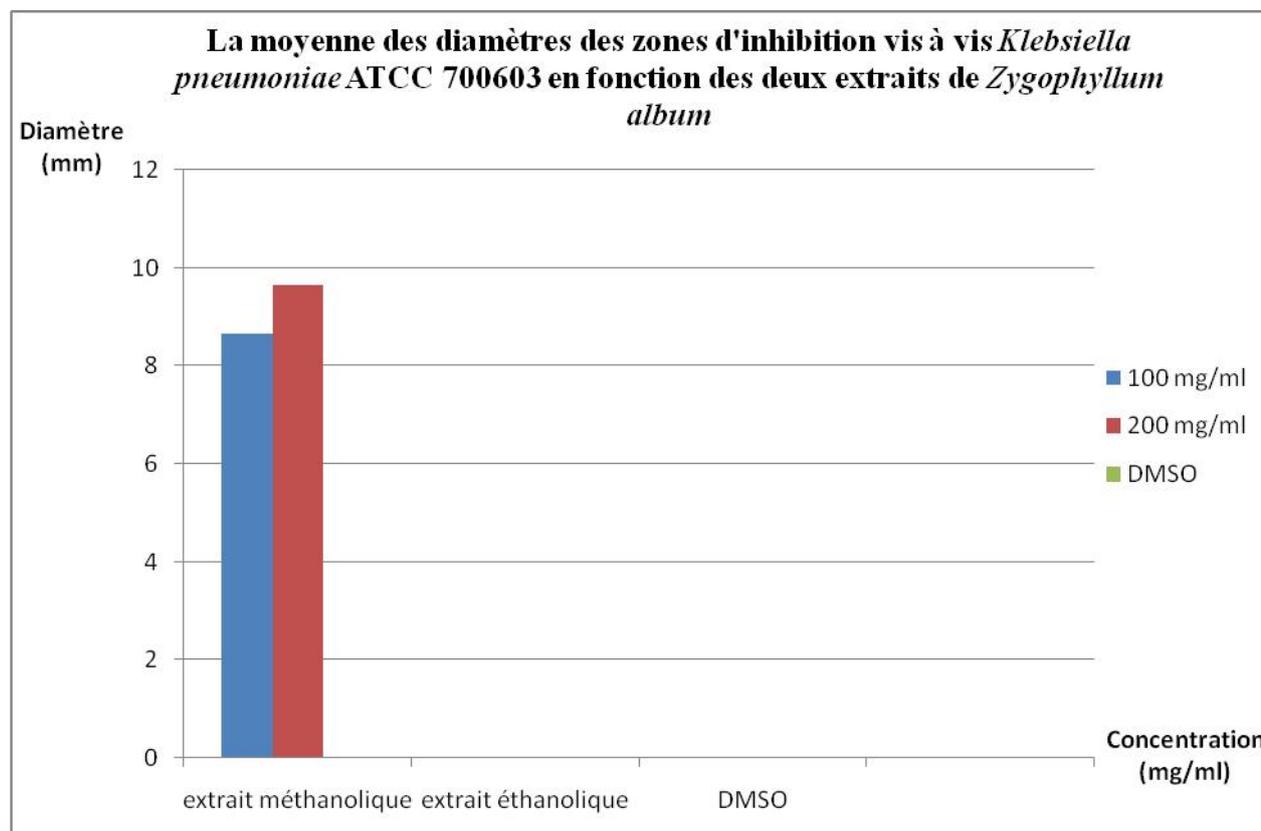


**Figure 15.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.

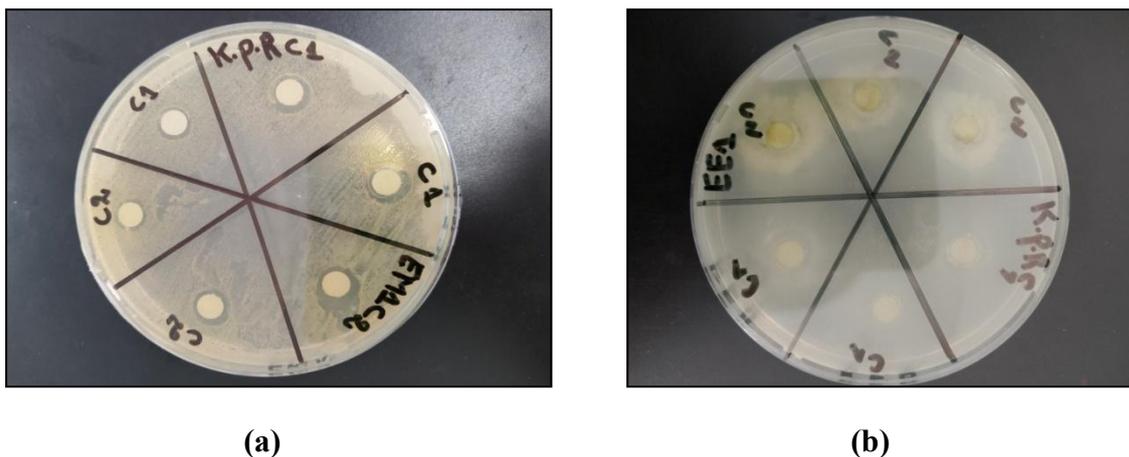


**Figure 16.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *Z. album* vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27853

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *Z. album* ont révélé une faible activité inhibitrice vis-à-vis de *K. pneumoniae* ATCC 700603 seulement à la concentration de 200 mg/ml dont le diamètre d'inhibition enregistré était de  $9,66 \pm 1.69$  mm. En revanche, aucune activité inhibitrice n'a été observée avec l'extrait éthanolique de *Z. album* à l'égard de la souche testée. Les résultats sont illustrés dans les **Figures 17 et 18**.

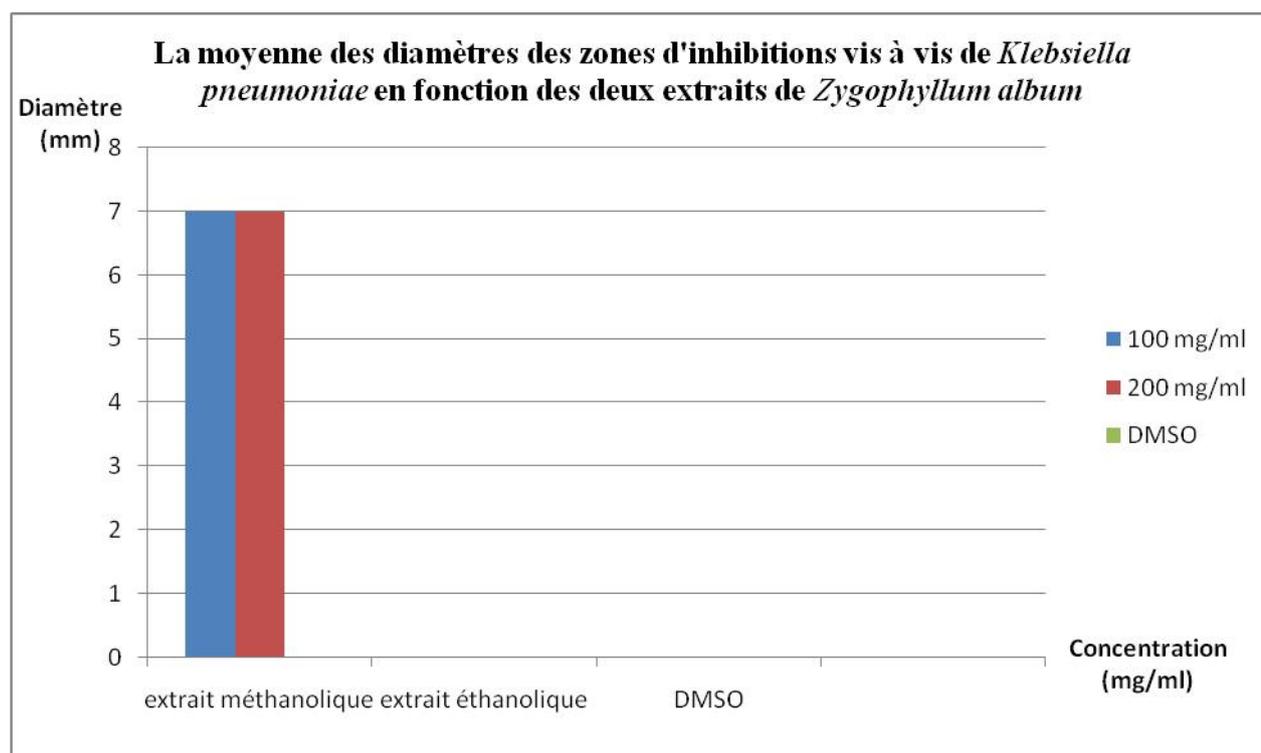


**Figure 17.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.



**Figure 18.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *Z. album* vis-à-vis de *K. pneumoniae* ATCC 700603.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique vis-à-vis de *K. pneumoniae*, illustrés dans les **Figures 19 et 20** indiquent une résistance de la souche aux deux extraits méthanolique et éthanolique de *Z. album*.

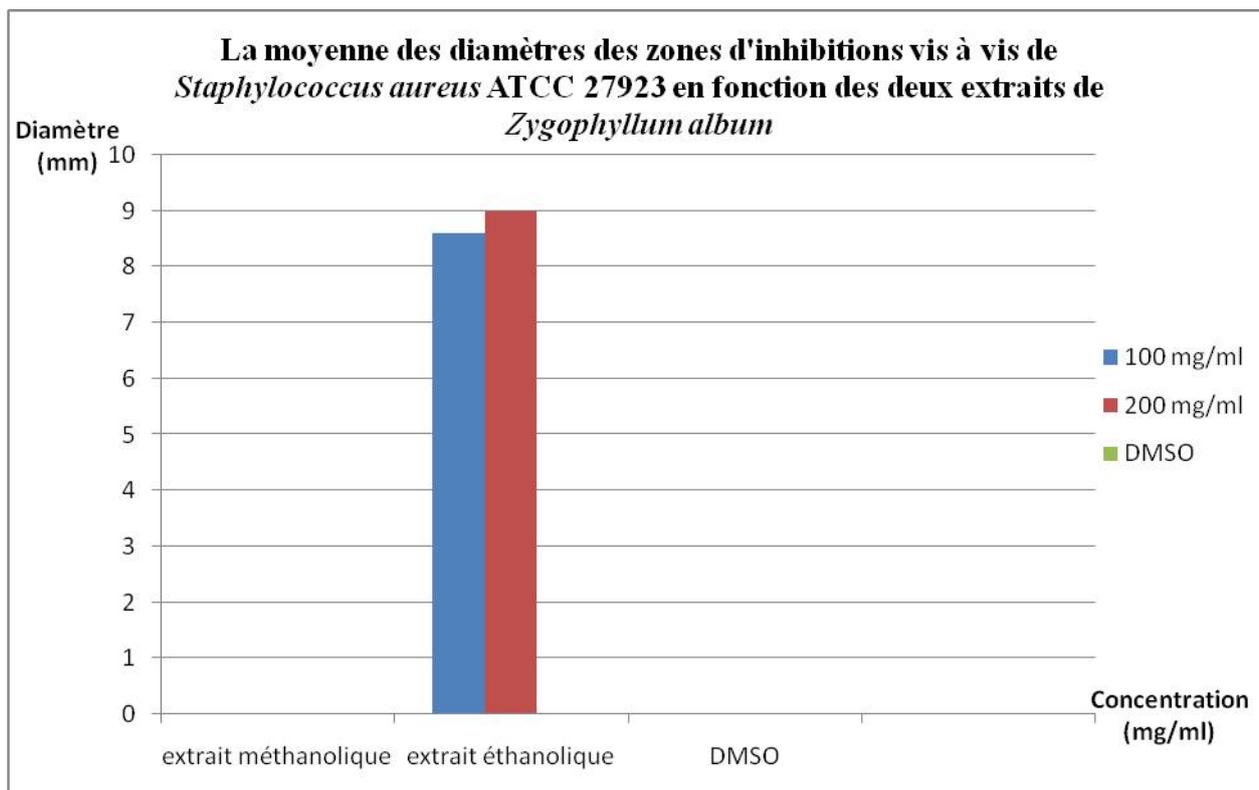


**Figure 19.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Klebsiella pneumoniae* en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.

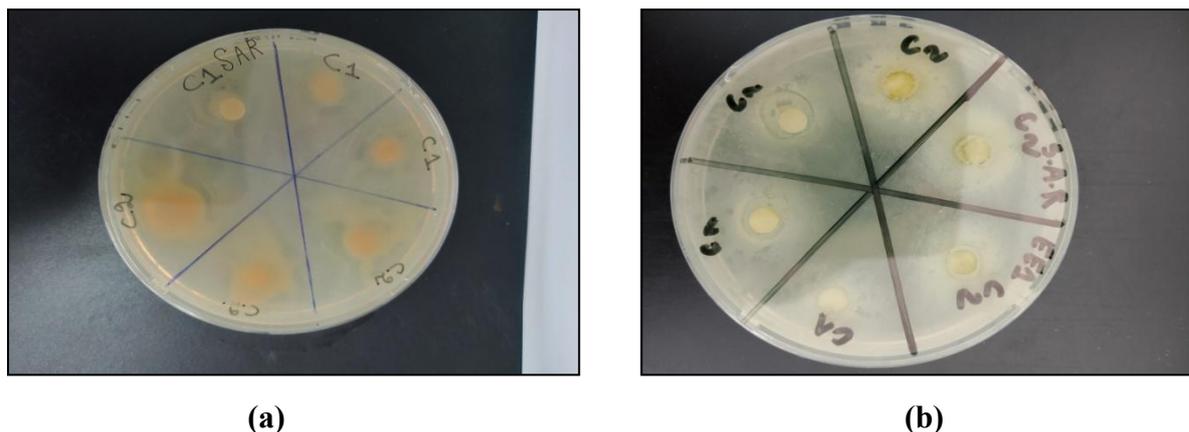


**Figure 20.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolic (b) de *Z. album* vis-à-vis de *K. pneumoniae*.

Selon les **Figures 21 et 22**, l'extrait méthanolique de *Z. album* n'a montré aucun effet inhibiteur observable par rapport à la souche *S. aureus* ATCC 27923. Par ailleurs, la souche testée a montré une résistance à l'extrait éthanolic de *Z. album* à la concentration de 100 mg/ml et une faible activité inhibitrice à la concentration de 200 mg/ml avec un diamètre de  $9.00 \pm 00$  mm.

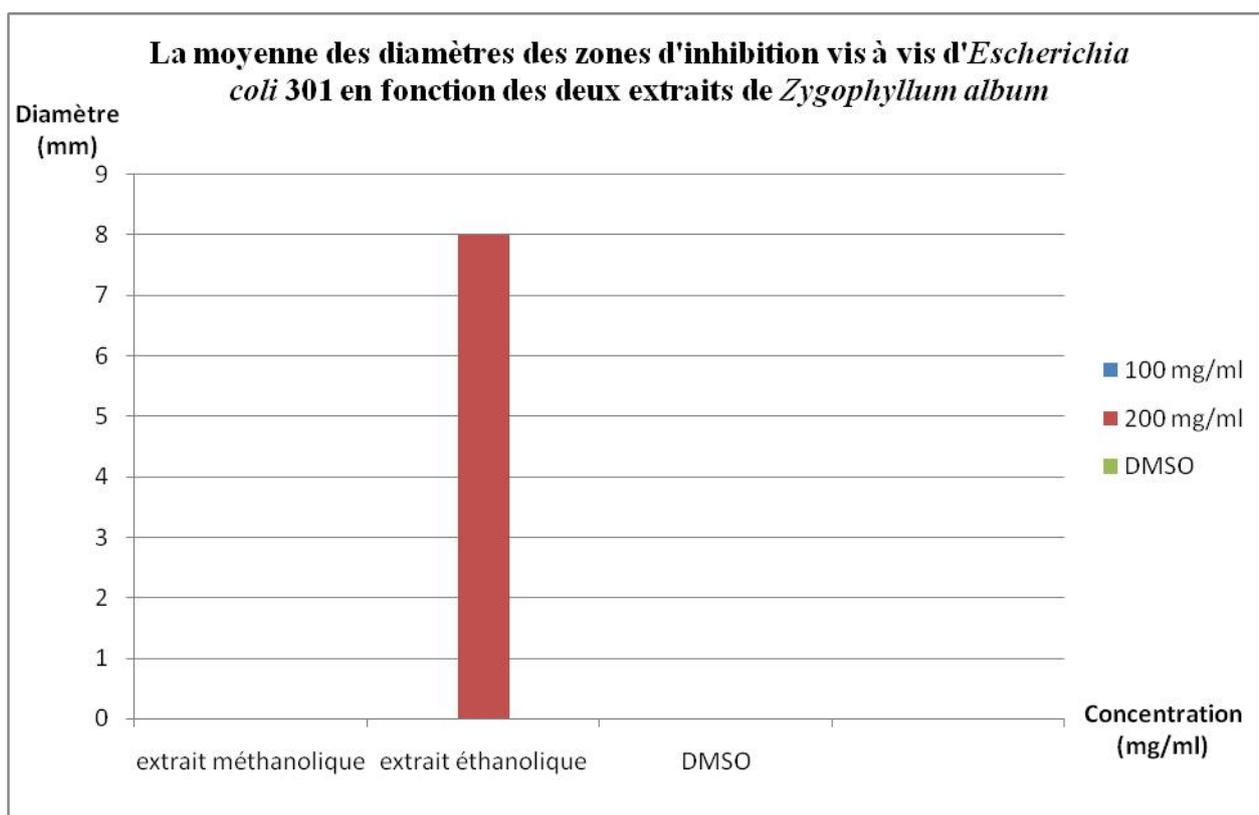


**Figure 21.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 27923 en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.

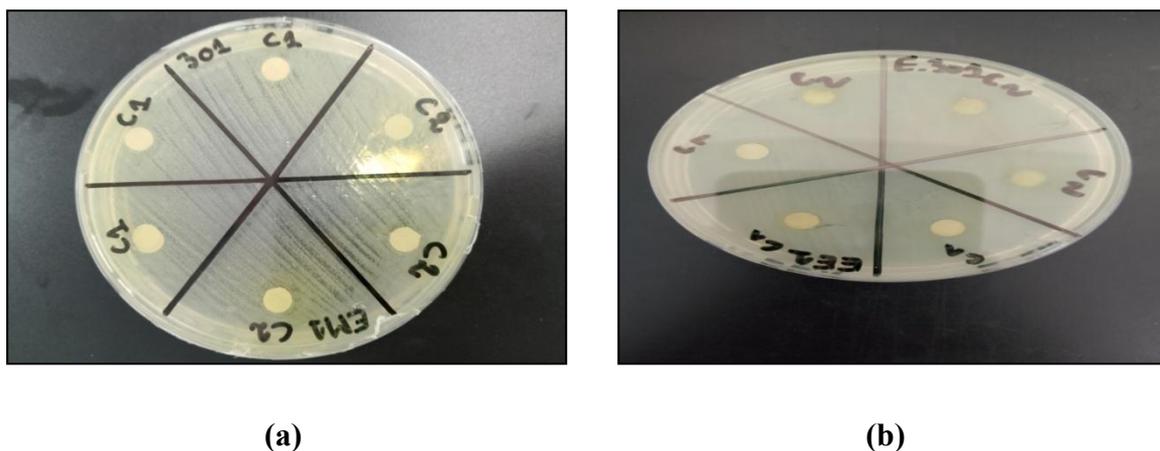


**Figure 22.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *Z. album* vis-à-vis de *S. aureus* ATCC 27923.

Les **Figures 23 et 24** ont clairement illustré la résistance de la souche *E. coli* 301 aux deux extraits: méthanolique et éthanolique de *Z. album*.



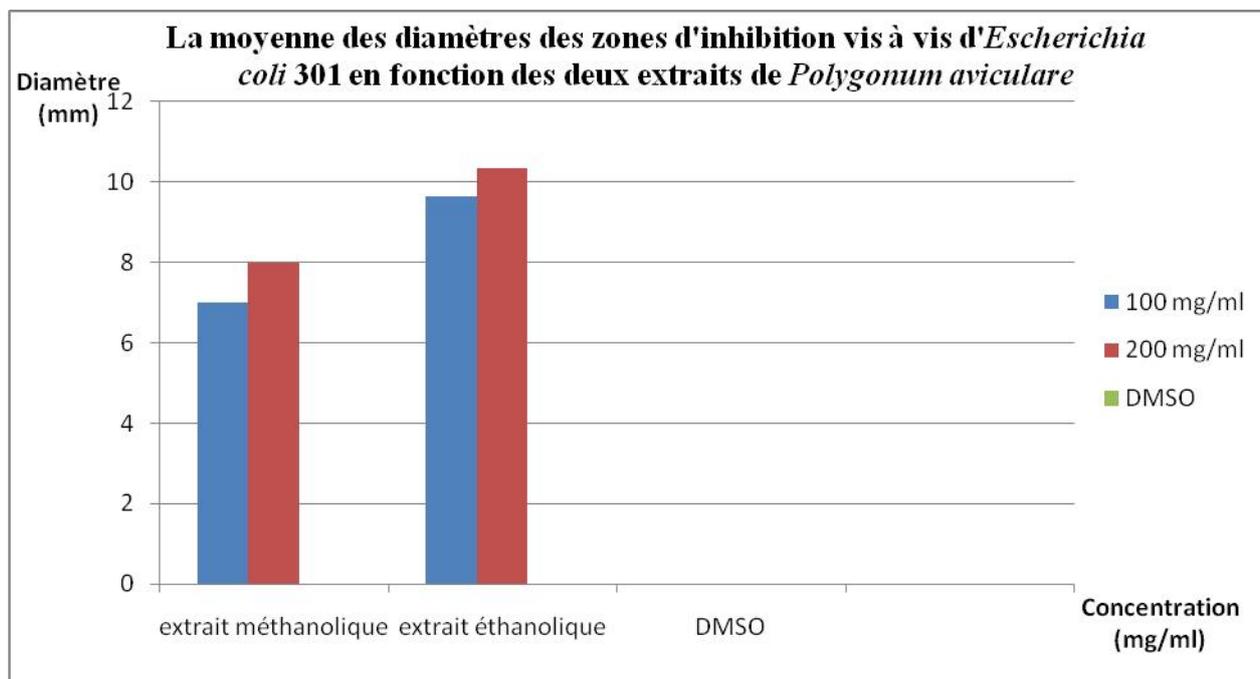
**Figure 23.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d'*Escherichia coli* 301 en fonction des deux extraits de *Zygophyllum album*.



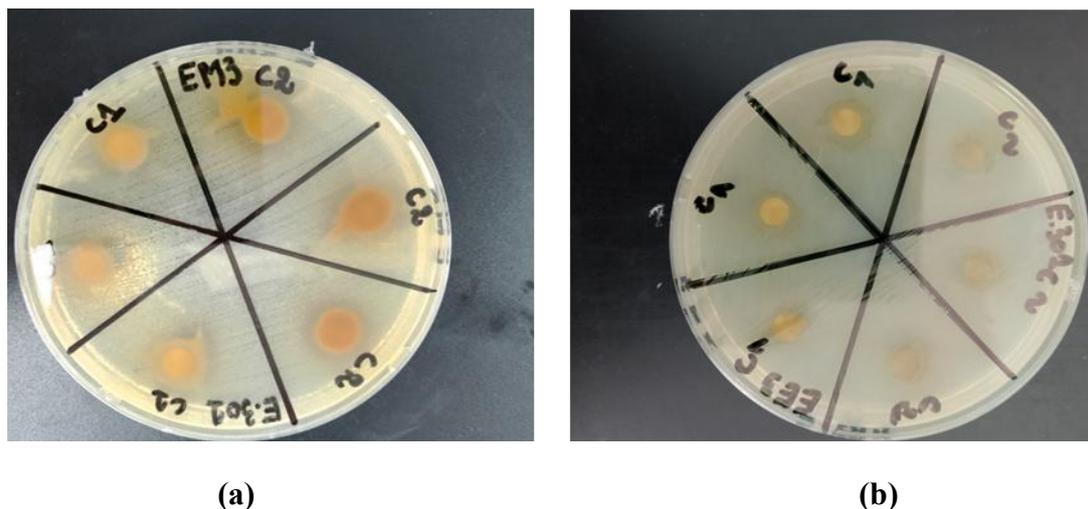
**Figure 24.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *Z. album* vis-à-vis d'*E. coli* 301.

### 1.1.2. Résultats de l'activité antibactérienne de *Polygonum aviculare*

Les résultats de l'activité antibactérienne des extraits de *P. aviculare* vis-à-vis d'*E. coli* 301 sont illustrés ci-dessous (**Figures 25 et 26**). L'examen de la figure 26 a montré une résistance à l'extrait méthanolique de *P. aviculare*. En revanche, une activité inhibitrice significative de l'extrait éthanolique vis-à-vis de la souche testée a été observée pour les deux concentrations testées (100 mg/ml et 200 mg/ml) avec des diamètres d'inhibition correspondant à  $9.66 \pm 0.47$  mm et  $10.33 \pm 0.47$  mm respectivement. Le témoin DMSO était négatif.

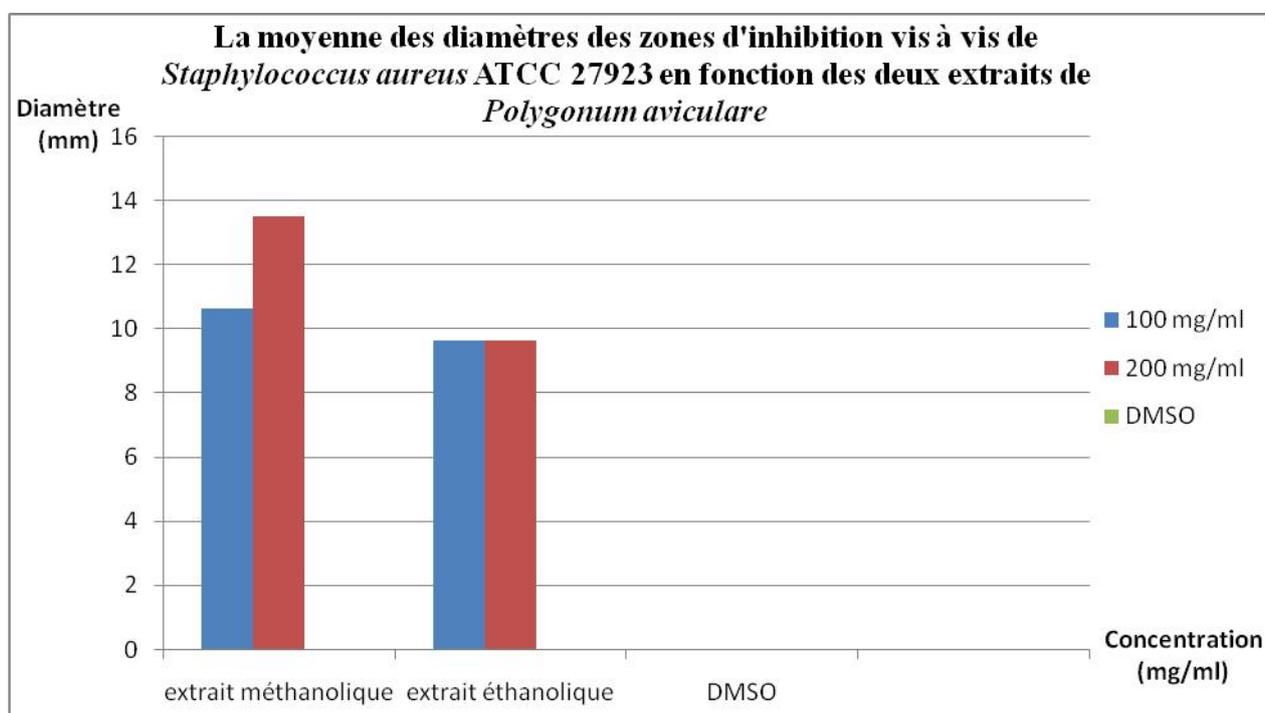


**Figure 25.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d'*Escherichia coli* 301 en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

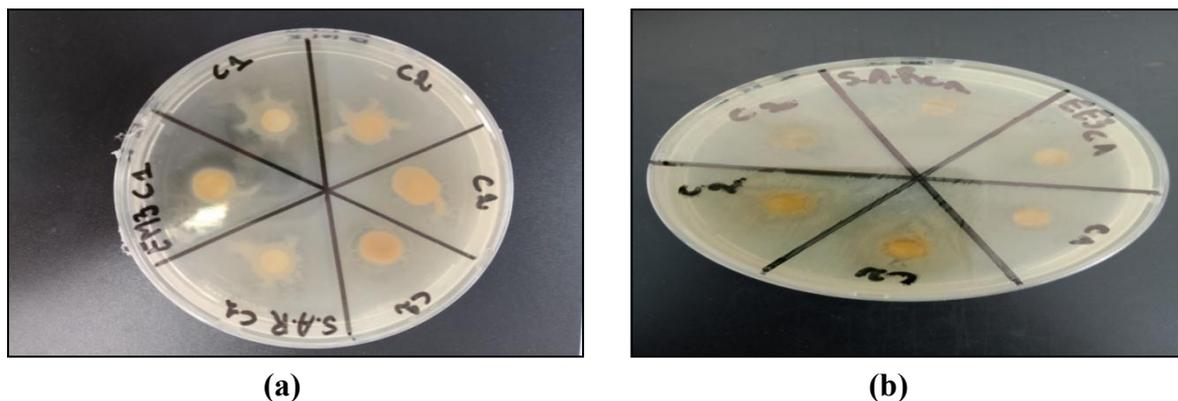


**Figure 26.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis d' *E.coli* 301.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *P. aviculare* ont révélé un effet inhibiteur important vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 27923, avec des diamètres d'inhibition enregistrés de  $10,66 \pm 1.15$  mm et  $13,5 \pm 0.81$  mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement. Par ailleurs, la souche testée a montré une faible sensibilité à l'extrait éthanolique pour les deux concentrations, avec un diamètre de  $9,66 \pm 0.47$  mm. Le témoin DMSO était négatif (**Figures 27 et 28**).

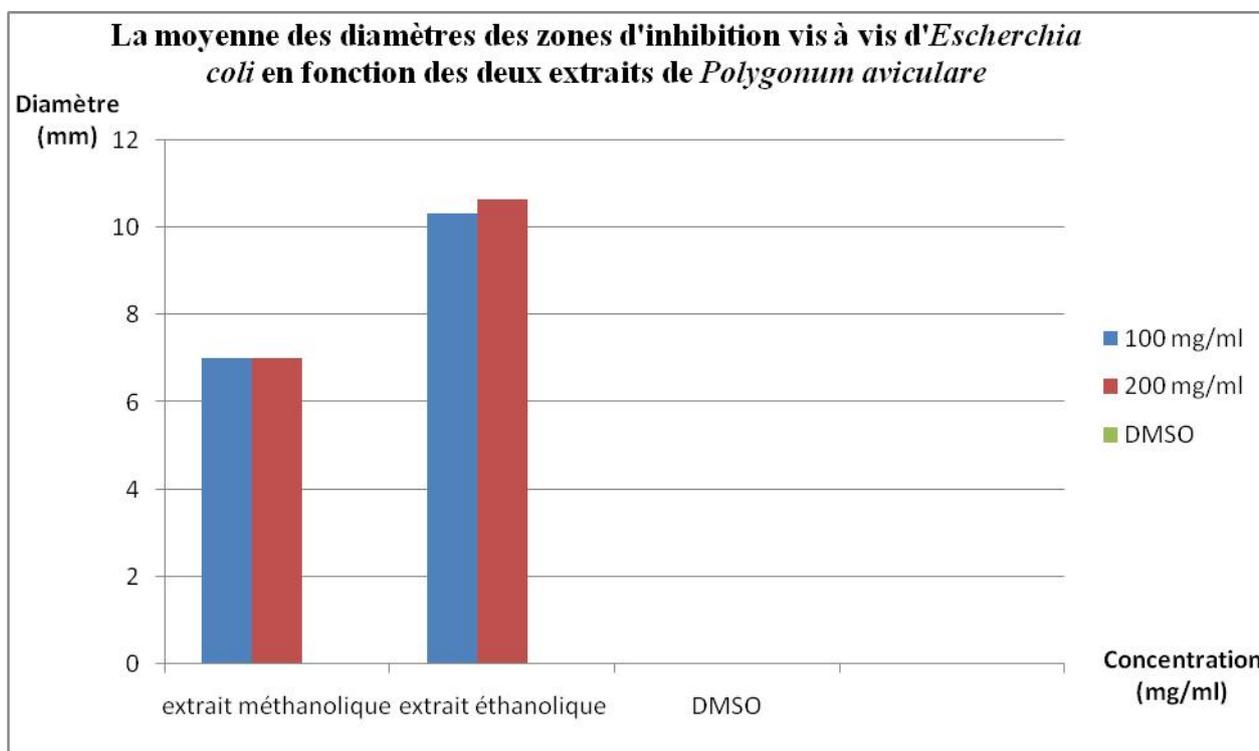


**Figure 27.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 27923 en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

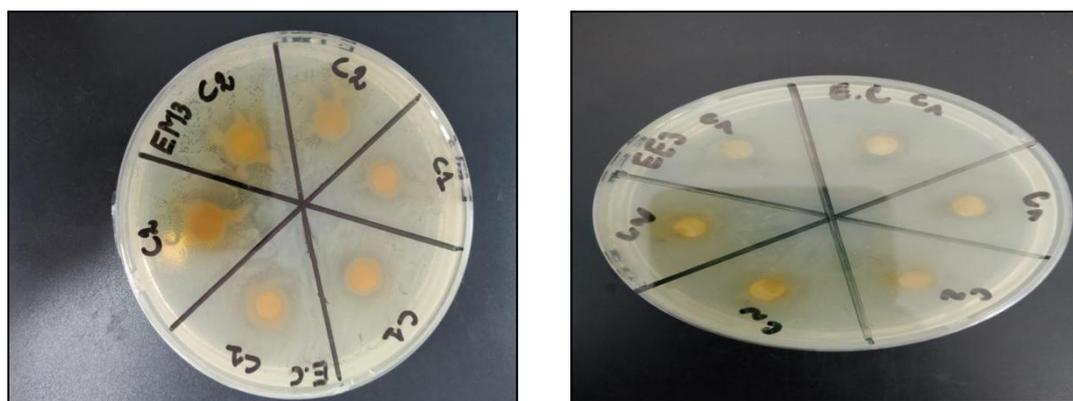


**Figure 28.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 27923.

Selon les **Figures 29 et 30**, les résultats indiquent que la souche d'*E.coli* présentait une résistance à l'extrait méthanolique de *P. aviculare* à les deux concentrations 100 mg/ml et 200 mg/ml. En revanche, elle a montré une sensibilité significative à l'extrait éthanolique aux deux concentrations 200 mg/ml et 100 mg/ml avec des diamètres d'inhibition de  $10,66 \pm 0,47$  et  $10,33 \pm 0,47$  mm respectivement.



**Figure 29.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d'*Escherichia coli* en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

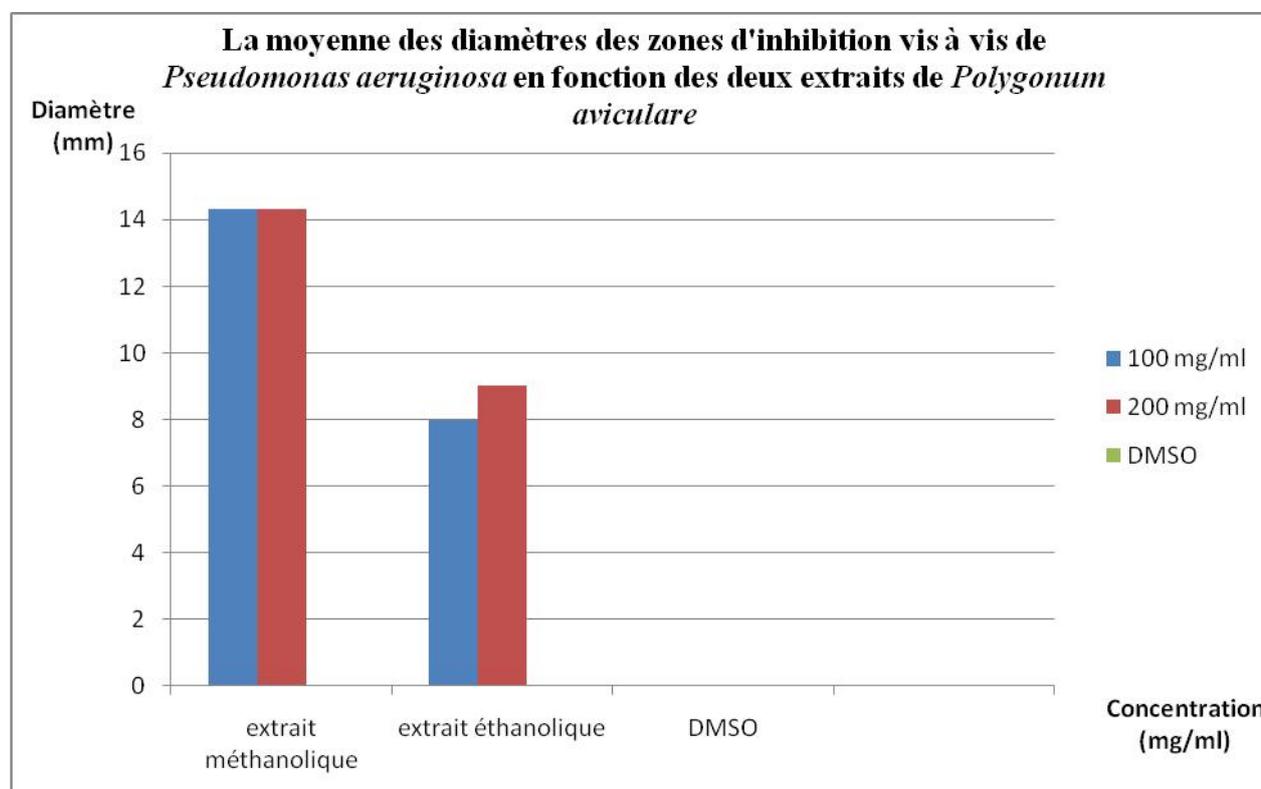


(a)

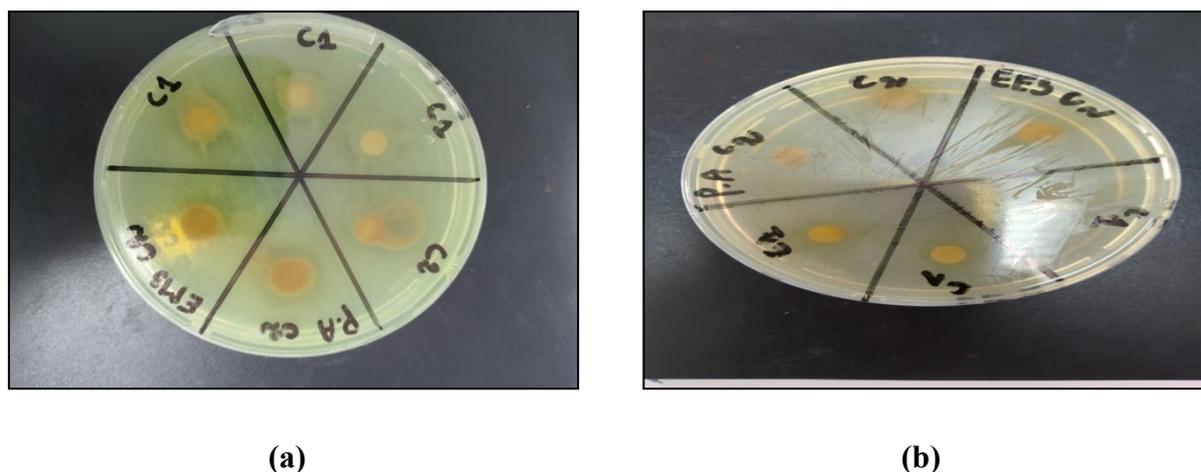
(b)

**Figure 30.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis d' *Escherichia coli*.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *P. aviculare* ont révélé un effet inhibiteur important vis-à-vis de *P. aeruginosa*, avec des diamètres d'inhibition enregistrés de  $14,33 \pm 1,24$  mm et  $14,33 \pm 0,47$  mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement. En revanche, la souche testée a montré une résistance à l'extrait éthanolique. Les résultats sont illustrés dans les **Figures 31 et 32**.

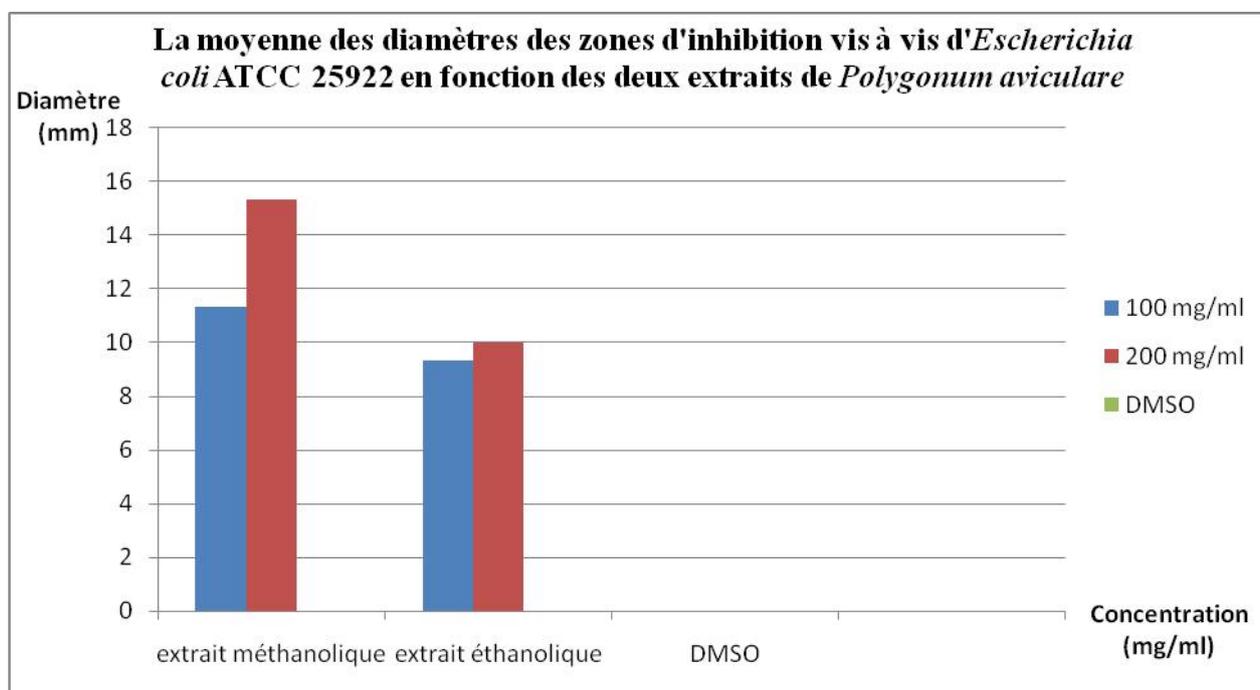


**Figure 31.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Pseudomonas aeruginosa* en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

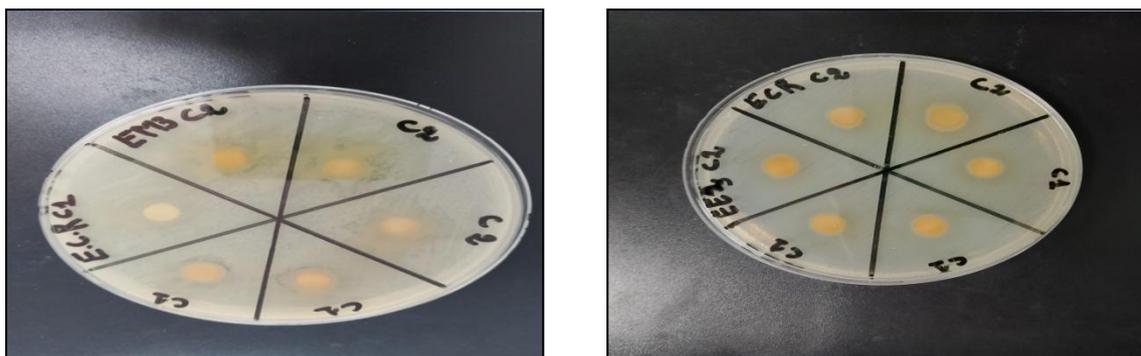


**Figure 32.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis de *Pseudomonas aeruginosa*.

Les **Figures 33 et 34** ont clairement illustré l'activité inhibitrice de l'extrait méthanolique de *P. aviculare* vis-à-vis de la souche *E. coli* ATCC 25922. Les résultats ont indiqué des valeurs de diamètres d'inhibition de  $11,33 \pm 1,24$  mm et  $15,33 \pm 2,05$  mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement. Quant à l'extrait éthanolique, l'examen de la figure 34 a montré une activité inhibitrice significative de l'extrait vis-à-vis de la souche testée pour les deux concentrations (100 mg/ml et 200 mg/ml), avec des diamètres d'inhibition qui correspondent à  $9,33 \pm 1,24$  mm et  $10,00 \pm 0,81$  mm respectivement.

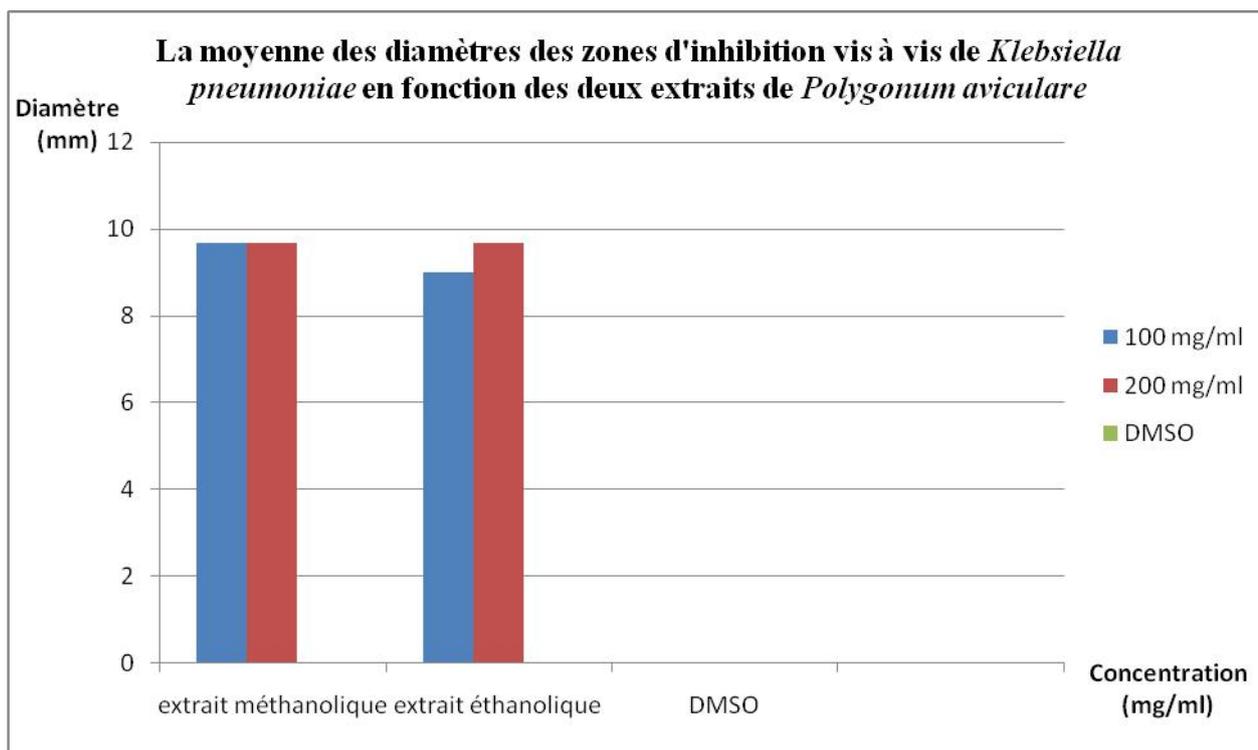


**Figure 33.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis d'*E. coli* ATCC 25922 en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

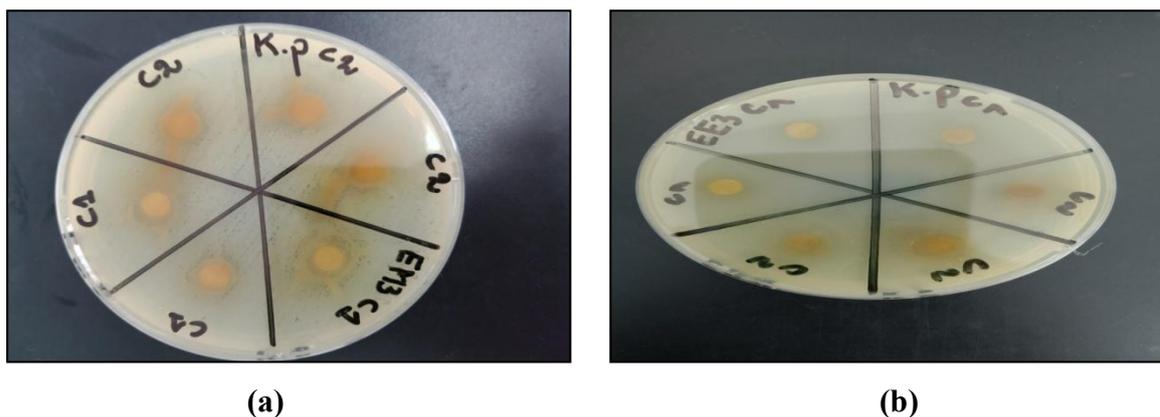


**Figure 34.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis de *Escherichia coli* ATCC 25922.

Selon les **Figures 35 et 36**, les résultats indiquent une faible sensibilité de *Klebsiella pneumoniae* aux deux extraits de *P. aviculare*. Pour l'extrait méthanolique, les diamètres d'inhibition étaient de  $9,6 \pm 0,94$  mm pour les deux concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml. Concernant l'extrait éthanolique, les diamètres étaient de  $9,00 \pm 0,81$  mm à 100 mg/ml et de  $9,6 \pm 0,47$  mm à 200 mg/ml.

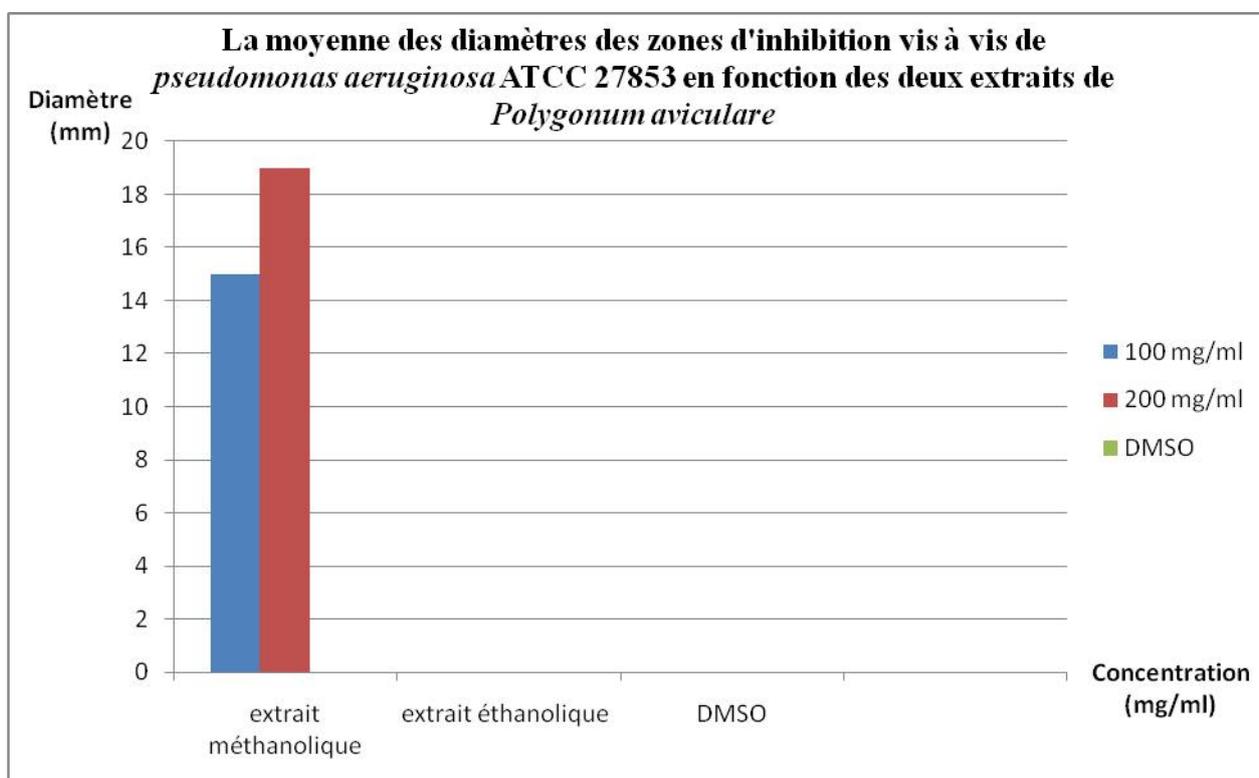


**Figure 35.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Klebsiella pneumoniae* en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

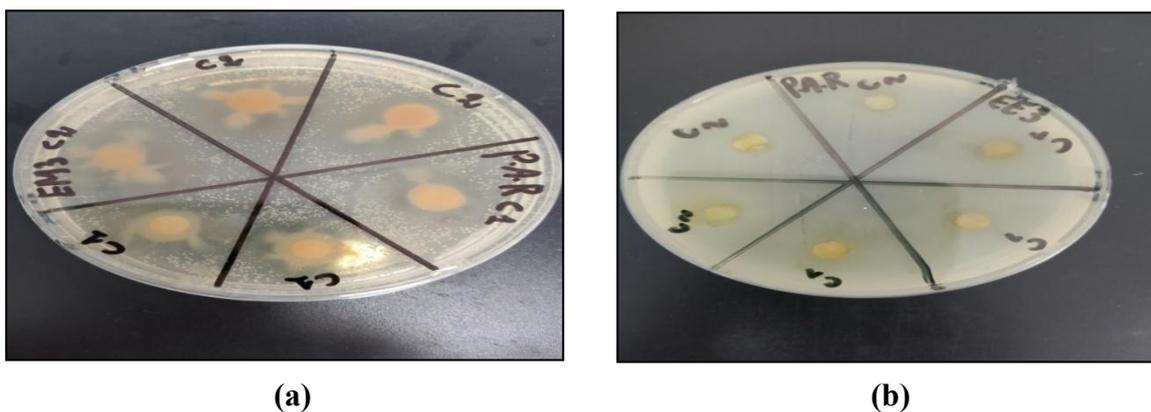


**Figure 36.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis de *Klebsiella pneumoniae*.

Les résultats illustrés dans les **Figures 37 et 38** révèlent que l'extrait méthanolique de *P. aviculare* a montré un effet inhibiteur vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27853 avec des diamètres d'inhibition mesurés correspondant à  $15 \pm 0.81$  mm et  $19 \pm 1.47$  mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement. En revanche, l'extrait éthanolique n'a montré aucun effet inhibiteur observable.

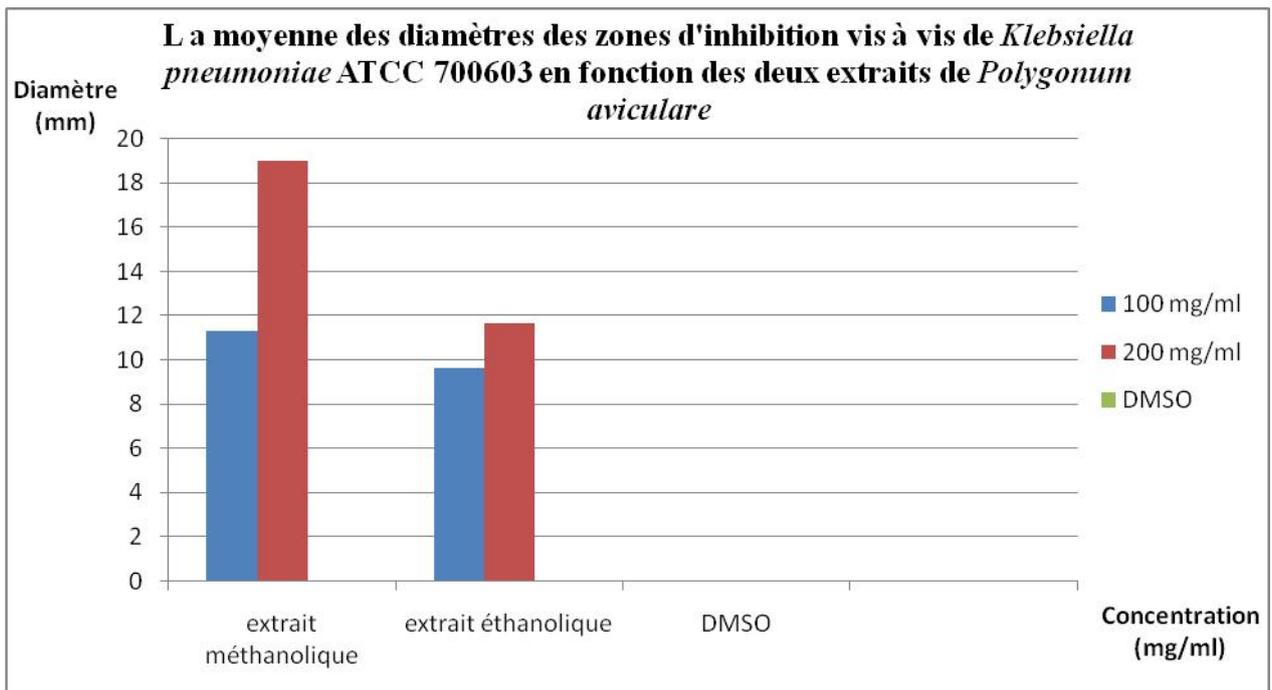


**Figure 37.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.

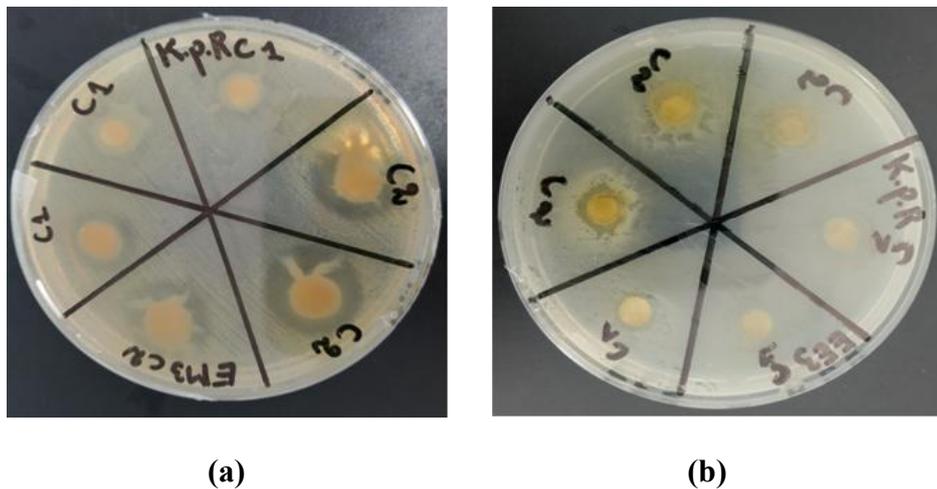


**Figure 38.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853.

Les résultats de l'activité antibactérienne des extraits méthanoliques vis-à-vis de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 sont illustrés ci-dessous (**Figures 39 et 40**). L'examen de la figure 39 a montré une activité inhibitrice significative de l'extrait méthanolique de *P. aviculare* vis-à-vis de la souche testée pour les deux concentrations (100 mg/ml et 200 mg/ml) avec des diamètres d'inhibition correspondant à  $11.33 \pm 1.69$  mm et  $19 \pm 1.47$  mm respectivement. Par ailleurs, la souche testée a montré une faible sensibilité à l'extrait éthanolique aux deux concentrations (100 mg/ml et 200 mg/ml) avec des diamètres de  $9.66 \pm 1.24$  mm et  $11,66 \pm 0.47$  mm, respectivement.



**Figure 39.** La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis à vis de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 en fonction des deux extraits de *Polygonum aviculare*.



**Figure 40.** Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique (a) et éthanolique (b) de *P. aviculare* vis-à-vis de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603.

**Tableau 5.** L'activité antibactérienne de différents extraits de plantes (diamètre de la zone d'inhibition en mm\*).

Souche bactérienne	concentration	<i>Z. album</i>		<i>P. aviculare</i>		Contrôle DMSO
		Extrait MeOH	Extrait EtOH	Extrait MeOH	Extrait EtOH	
<i>E. coli</i>	200mg/ml	10.33±1.15	9.00±00	7.00±00	10.66±0.47	00.00
	100mg/ml	8.00±1.00	9.00±00	7.00±00	10.33±0.47	
<i>E. coli</i> 301	200mg/ml	00.00	8.00±00	8.00±00	9.66±0.47	00.00
	100mg/ml	00.00	00.00	7.00±00	10.33±0.47	
<i>K. pneumoniae</i>	200mg/ml	7.00±00	00.00	9.66±0.94	9.66±0.47	00.00
	100mg/ml	7.00±00	00.00	9.66±0.94	9.00±0.81	
<i>P. aeruginosa</i>	200mg/ml	10.66±0.94	9.66±0.47	14.33±0.47	9.00±00	00.00
	100mg/ml	10.33±1.88	9.00±00	14.33±1.24	8.00±00	
<i>E. coli</i> ATCC 25922	200mg/ml	9.66±0.94	00.00	15.33±2.05	10.00±0.81	00.00
	100mg/ml	7.33±0.47	00.00	11.33±1.24	9.33±1.24	
<i>K. pneumoniae</i> ATCC 700603	200mg/ml	9.66±1.69	00.00	19.00±1.47	11.66±0.47	00.00
	100mg/ml	8.66±0.47	00.00	11.33±1.69	9.66±1.24	
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	200mg/ml	8.00±00	7.00±00	19.00±1.47	00.00	00.00
	100mg/ml	7.00±00	7.00±00	15.00±0.81	00.00	
<i>S. aureus</i> ATCC 27923	200mg/ml	00.00	9.00±00	13.5±0.81	9.66±0.47	00.00
	100mg/ml	00.00	8.66±0.47	10.66±1.15	9.66±0.47	

### 1.2. Résultats de la concentration minimale inhibitrice CMI

Dans cette étude, la concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits méthanoliques et éthanoliques des plantes *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album* a été évaluée en utilisant une méthode de dilution en série avec des concentrations décroissantes. La CMI a été identifiée comme étant la concentration la plus basse de l'extrait qui a inhibé la croissance visible des micro-organismes dans un milieu liquide. Cette concentration a été déterminée par l'observation visuelle de la clarté du milieu, indiquant l'absence de croissance microbienne dans les tubes testés.

Les résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits à l'égard des bactéries pathogènes testées sont montrés dans les **figures 41, 42, 43, 44 et 45**, et sont également détaillés dans les **tableaux 6, 7, 8, et 9**.

**Tableau 6.** Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique de *Z.album* vis-à-vis des souches sensibles.

Souche	200mg/ ml	100mg/ ml	50mg/ml	25mg/ml	12.5mg/ ml	6.25mg/ ml	3.125mg /ml
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	+	+	+	+	+
<i>K. pneumoniae</i> ATCC	-	+	+	+	+	+	+
<i>E. coli</i>	-	+	+	+	+	+	+
<i>E. coli</i> ATCC	-	-	+	+	+	+	+

(-): Absence de trouble

(+): Présence de trouble

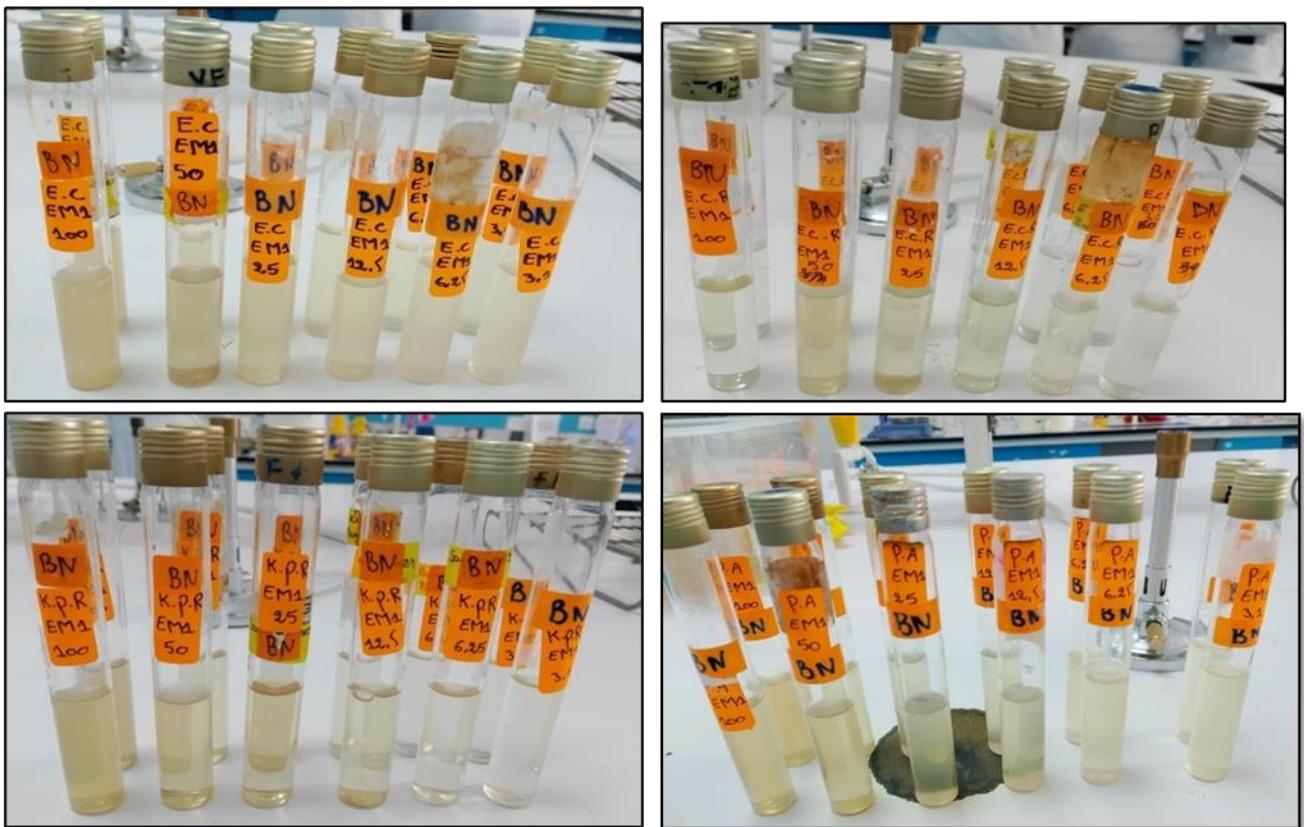


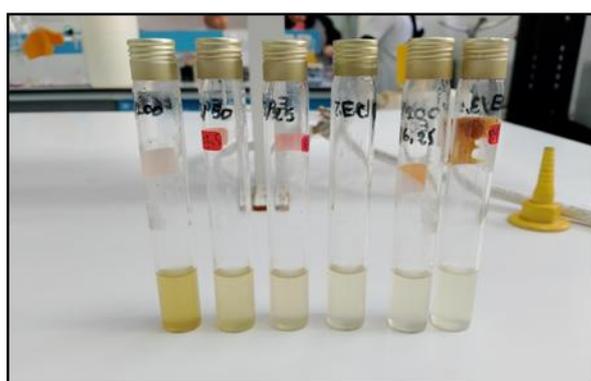
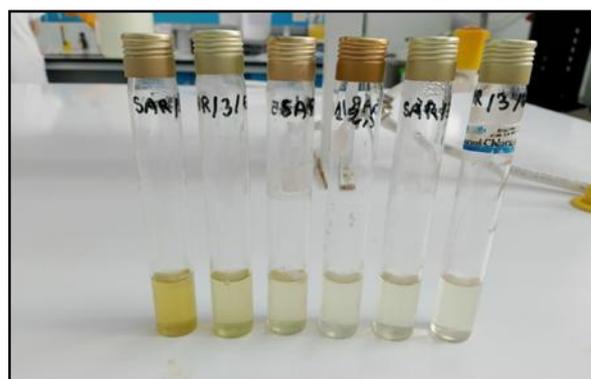
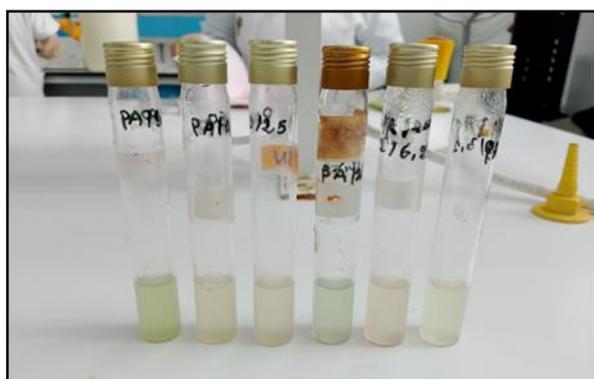
Figure 41. Résultats de CMI de l'extrait méthanolique de *Z. album*.

**Tableau 7.** Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique de *Z. album* vis-à-vis des souches sensibles.

Souche	200mg/ ml	100mg/ ml	50 mg/ml	25 mg/ml	12.5 mg/ml	6.25 mg/ml	3.125mg/ ml
<i>E. coli</i>	-	-	+	+	+	+	+
<i>S. aureus</i> ATCC	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. aeruginosa</i>	-	+	+	+	+	+	+

(-) : Absence de trouble

(+) : Présence de trouble



**Figure 42.** Résultats de CMI de l'extrait éthanolique de *Z. album*.

**Tableau 8.** Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique de *P.aviculare* vis-à-vis des souches sensibles.

Souche	200mg/ml	100mg/ml	50mg/ml	25mg/ml	12.5mg/ml	6.25mg/ml	3.125mg/ml
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	+	+	+	+	+
<i>P. aeruginosa</i> ATCC	-	-	-	+	+	+	+
<i>K. pneumoniae</i>	-	+	+	+	+	+	+
<i>E. coli</i> ATCC	-	-	-	-	-	+	+
<i>S. aureus</i> ATCC	-	-	-	+	+	+	+
<i>E. coli</i>	-	+	+	+	+	+	+

(-) : Absence de trouble

(+) : Présence de trouble



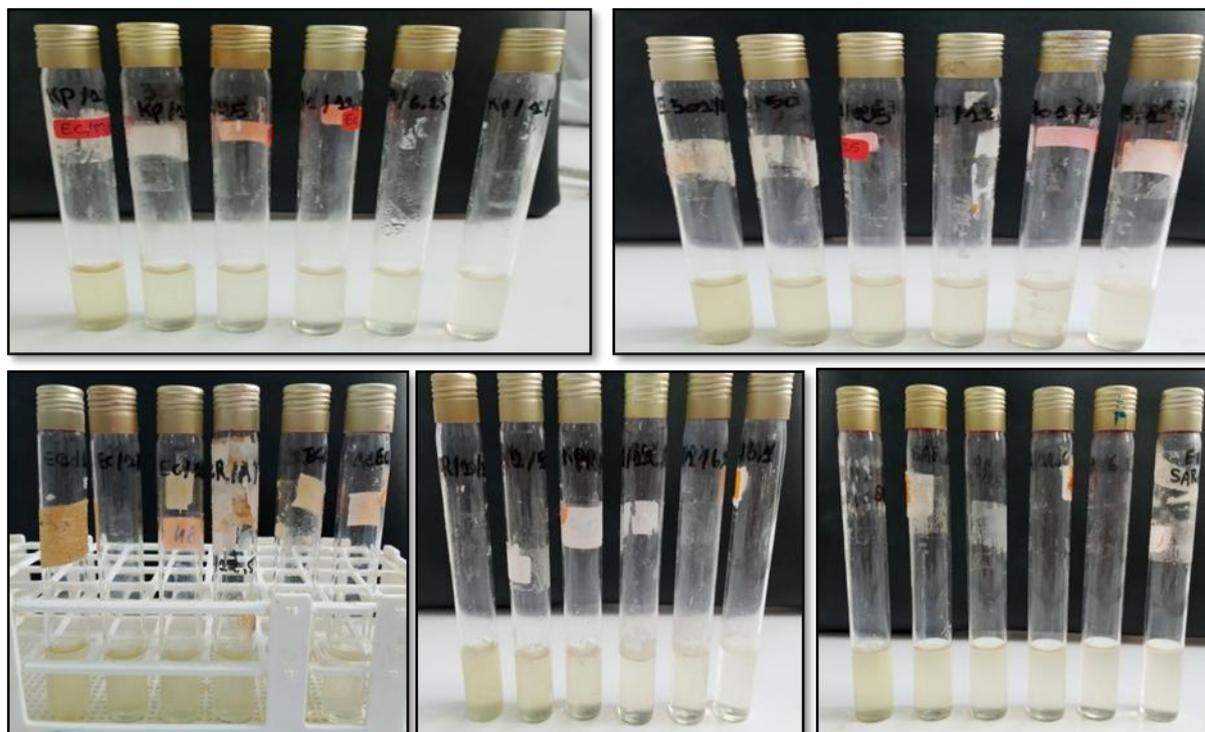
**Figure 43.** Résultats de CMI de l'extrait méthanolique de *P. aviculare*.

**Tableau 9.** Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique de *P. aviculare* vis-à-vis des souches sensibles.

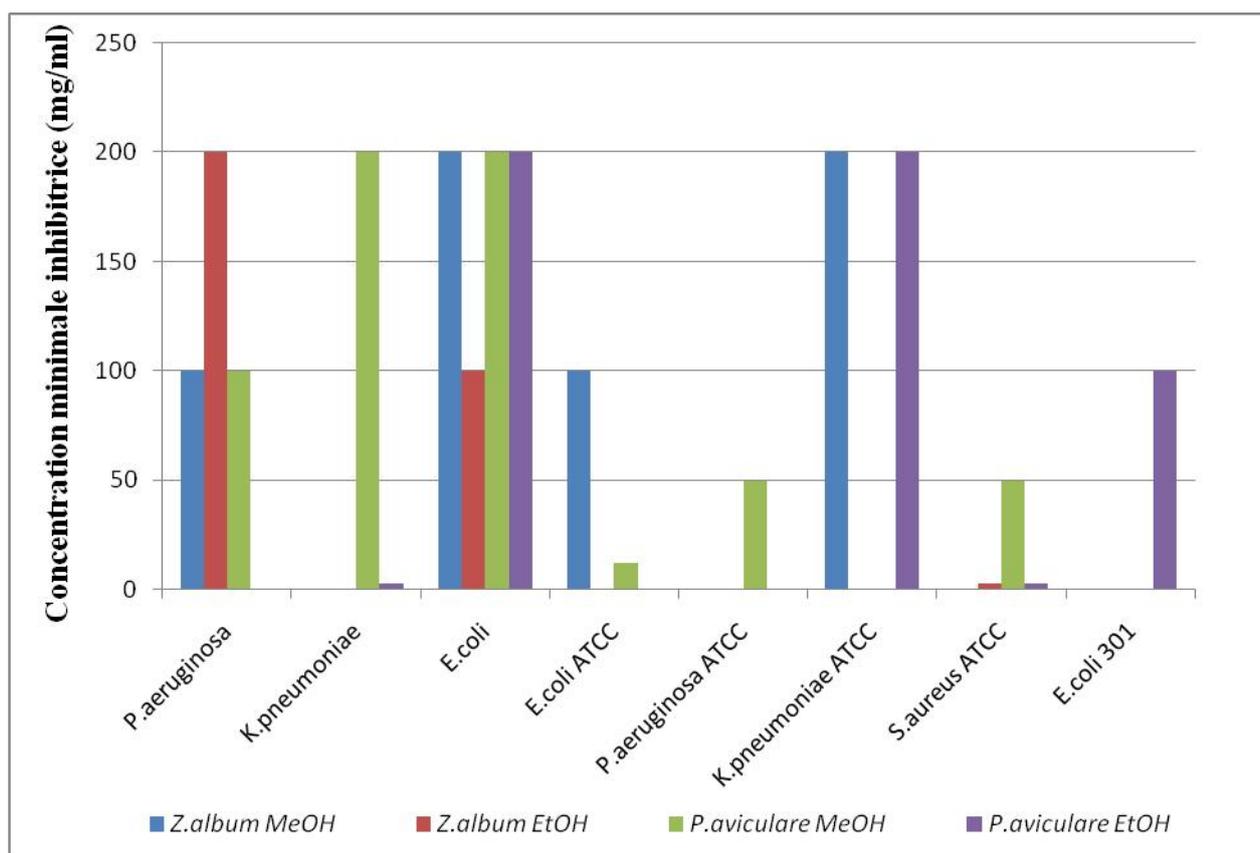
Souche	200mg/ml	100mg/ml	50 mg/ml	25 mg/ml	12.5 mg/ml	6.25 mg/ml	3.125mg/ml
<i>K. pneumoniae</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	-	+	+	+	+	+	+
<i>K. pneumoniae</i> ATCC	-	+	+	+	+	+	+
<i>S. aureus</i> ATCC	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i> 301	-	-	+	+	+	+	+

(-) : Absence de trouble

(+) : Présence de trouble



**Figure 44.** Résultats de CMI de l'extrait éthanolique de *P. aviculare*.



**Figure 45.** La concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits de *P. aviculare* et *Z. album* vis-à-vis des souches bactériennes sensibles.

Les figures 41, 42, 43 et 44 illustrent une diminution progressive de l'intensité du trouble causé par la croissance bactérienne à mesure que la concentration de l'extrait augmente dans les tubes expérimentaux. La figure 45 illustre les données obtenues de l'analyse de la concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits méthanoliques et éthanoliques de *P. aviculare* et *Z. album* à l'égard des souches bactériennes sensibles.

Pour l'extrait méthanolique de *P. aviculare* :

- La souche *Escherichia coli* ATCC 25922 est la plus réceptive à l'extrait méthanolique de *P. aviculare*, avec une CMI de 12,5 mg/ml, indiquant une puissante capacité de l'extrait à inhiber cette bactérie.
- Les souches *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 et *Staphylococcus aureus* ATCC 27923 ont démontré une sensibilité intermédiaire, avec une CMI de 50 mg/ml, ce qui signifie qu'une concentration plus élevée de l'extrait est nécessaire pour empêcher leur prolifération.

- En contraste, les souches *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli* ont révélé la CMI la plus élevée, à 100 mg/ml, suggérant une résistance accrue à l'extrait de *P. aviculare*. Cela pourrait révéler une moindre sensibilité de ces bactéries à l'extrait ou l'existence de mécanismes de résistance particuliers.

En ce qui concerne l'extrait éthanolique de *P. aviculare* :

- Les souches les plus sensibles sont *Staphylococcus aureus* ATCC 27923 et *Klebsiella pneumoniae*, avec des valeurs de CMI de 3,125 mg/ml. Cela indique une activité inhibitrice élevée de l'extrait envers les souches.
- Toutefois, les souches *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli* 301 ont présenté la valeur la plus élevée de CMI, soit 100 mg/ml, ce qui suggère une résistance accrue à l'extrait éthanolique de *P. aviculare*. Cela pourrait suggérer que ces souches sont moins sensibles à l'extrait ou qu'elles ont des mécanismes de résistance spécifiques.

Dans le cas de l'extrait éthanolique de *Z. album* :

- Nous avons observé que la souche *Staphylococcus aureus* ATCC 27923 est très sensible à l'extrait éthanolique de *Z. album*, avec une valeur de CMI de 3,125 mg/ml, ce qui indique une activité inhibitrice importante de l'extrait sur cette souche.
- En revanche, la valeur de CMI des souches *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli* est plus élevée atteignant 100 mg/ml, ce qui suggère une plus grande résistance à l'extrait éthanolique de *Z. album*.

À propos de l'extrait méthanolique de *Z. album* :

- Les souches *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 et *Escherichia coli* ATCC 25922 ont montré une valeur de CMI de 100 mg/ml pour l'extrait méthanolique.

### 1.3. Résultats des analyses quantitatives par dosage spectrophotométrique

#### 1.3.1. Résultats des polyphénols totaux et des flavonoïdes

Les polyphénols totaux ont été estimés en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu. L'acide gallique a été employé en tant que standard. La longueur d'onde de l'absorbance a été mesurée à 765 nm. Les résultats obtenus sont illustrés par une courbe d'étalonnage (**Figure 46**), qui a l'équation suivante :

$$Y = 0,0018x + 0,331$$

$$R^2 = 0,96$$

On a enregistré la quantité de polyphénols en microgrammes d'équivalent de l'acide gallique par milligramme de l'extrait sec de la plante ( $\mu\text{g EAG/mg Es}$ ).

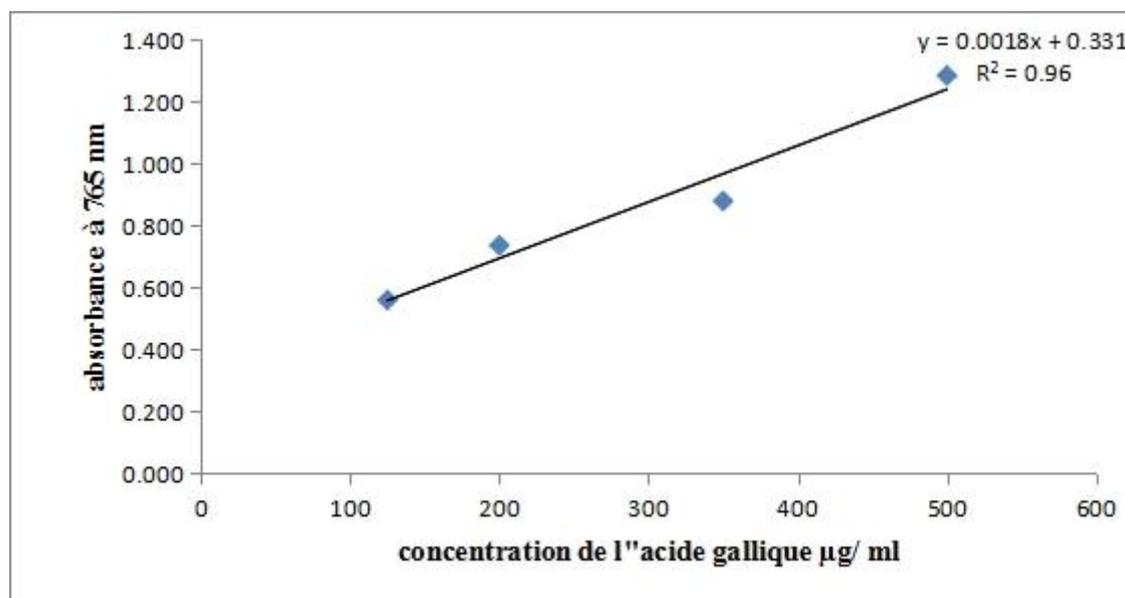


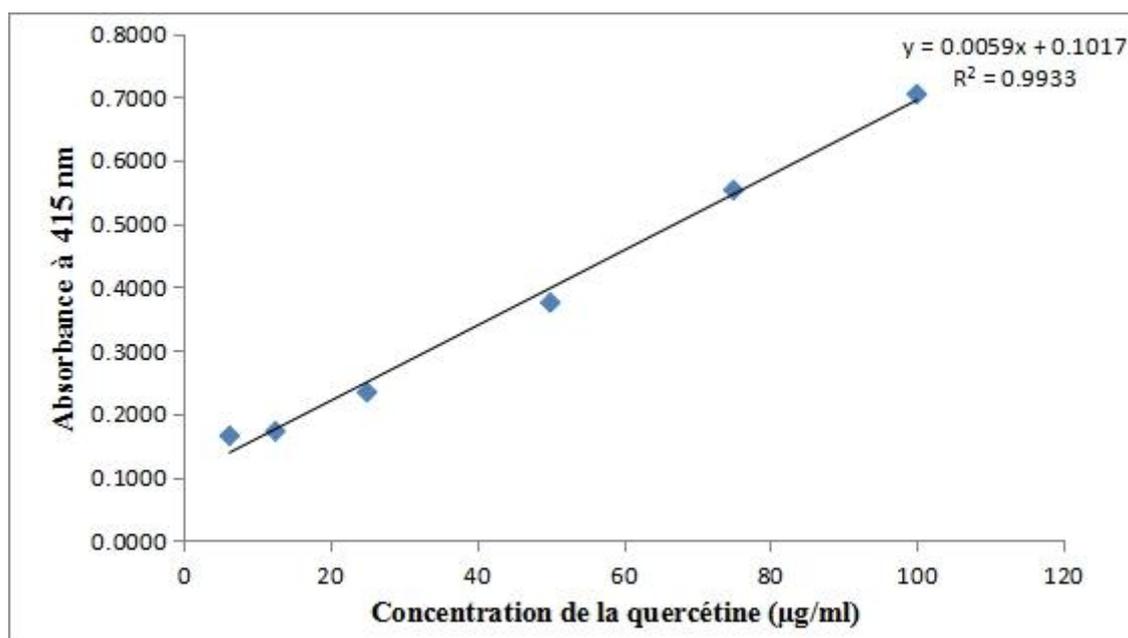
Figure 46. Droite d'étalonnage de l'acide gallique.

Le dosage des flavonoïdes a été effectué en utilisant la méthode du trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ), avec la quercétine comme étalon. L'analyse de l'absorbance a été réalisée à une longueur d'onde de 415 nm. On représente les résultats obtenus dans une courbe d'étalonnage (**figure 47**), avec l'équation suivante :

$$Y = 0,0059x + 0,1017$$

$$R^2 = 0,9933$$

La quantité des flavonoïdes a été rapportée en microgramme d'équivalent de la quercétine par milligramme de l'extrait sec de la plante ( $\mu\text{g EQ/mg Es}$ ).



**Figure 47.** Droite d'étalonnage de la quercétine.

Les résultats de la quantification des polyphénols et des flavonoïdes sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 10.** Dosage des polyphénols et des flavonoïdes des extraits de *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*.

Extraits des plantes	Polyphénols (µg EAG/mg Es)	Flavonoïdes (µg EQ/mg Es)
Extrait méthanolique de <i>Polygonum aviculare</i> .	161.99±11.93	30.87±3.76
Extrait méthanolique de <i>Zygophyllum album</i> .	19.55±1.79	19.14±6.11
Extrait éthanolique de <i>Polygonum aviculare</i> .	158.73±8.36	46.43±5.82
Extrait éthanolique de <i>Zygophyllum album</i> .	25.40±2.39	21.40±0.98

- ❖ D'après ces résultats, on remarque que les deux extraits méthanolique et éthanolique de la plante *Polygonum aviculare* sont riches en polyphénols dont la teneur la plus élevée en polyphénols a été trouvée dans l'extrait méthanolique : 161.99±11.93 µg EAG/mg Es par rapport à l'extrait éthanolique qui possède une quantité de 158.73±8.36 µg EAG/mg Es.

Tandis que les polyphénols sont moins abondants dans les deux extraits de *Zygophyllum album* avec des concentrations de  $19.55 \pm 1.79 \mu\text{g EAG/mg Es}$  pour l'extrait méthanolique et  $25.40 \pm 2.39 \mu\text{g EAG/mg Es}$  pour l'extrait éthanolique. En ce qui concerne les flavonoïdes à *Polygonum aviculare*, on a enregistré des valeurs correspondant à  $30.87 \pm 3.76 \mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait méthanolique et  $46.43 \pm 5.82 \mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait éthanolique. Par ailleurs, les extraits de *Zygophyllum album* contenaient une quantité plus faible de flavonoïdes  $19.14 \pm 6.11 \mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait méthanolique et  $21.40 \pm 0.98 \mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait éthanolique.

#### 1.4. Résultats de screening phytochimique

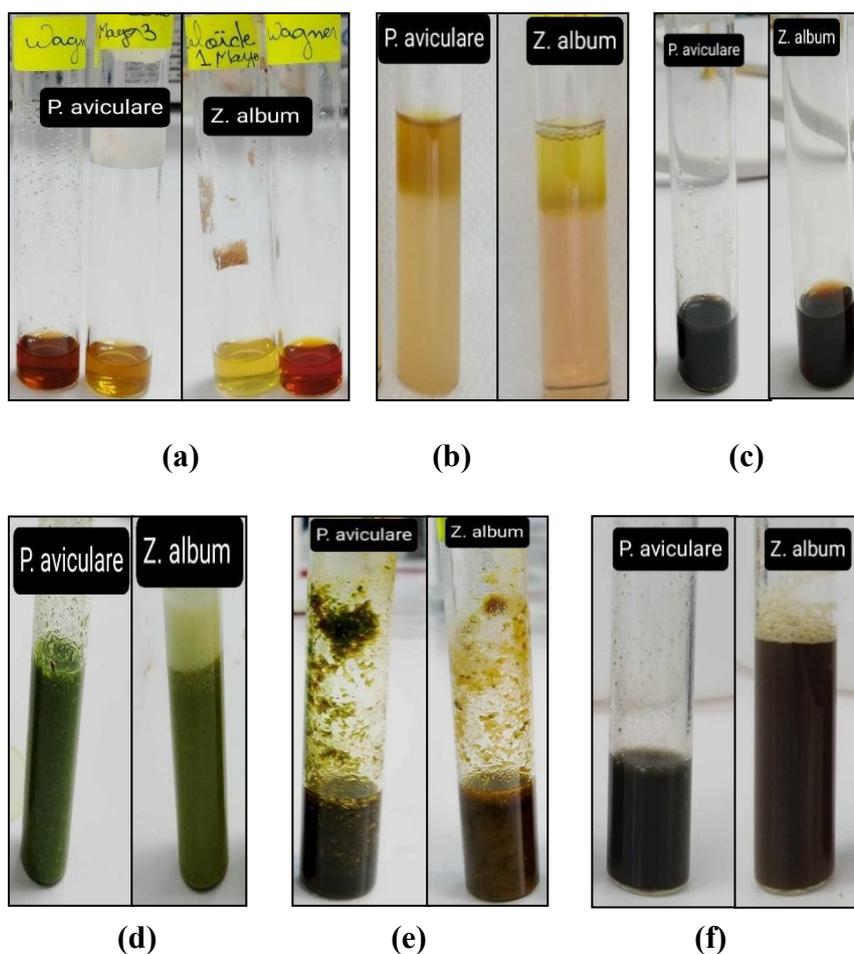
La présence de plusieurs familles de composés actifs a été confirmée par des tests phytochimiques effectués sur la matière végétale des deux plantes *P. aviculare* et *Z. album*, dont les résultats sont présentés dans le **tableau 11**.

**Tableau 11.** Résultats des tests phytochimiques des plantes étudiées.

Le test	<i>P. aviculare</i>	Observation	<i>Z. album</i>	Observation
<b>Composés phénoliques</b>	+++	Apparition d'une couleur Bleue Noirâtre	+	Apparition d'une couleur Bleue Noirâtre
<b>Flavonoïdes</b>	+++	Apparition d'une couleur jaune	+	Apparition d'une couleur jaune
<b>Saponines</b>	-	Absence de la mousse.	+++	La formation d'une mousse
<b>Tanins</b>	+++	Apparition d'une couleur vert foncé.	+++	Apparition d'une couleur vert foncé.
<b>Stéroïdes et triterpène</b>	-	Absence de la couleur violette.	-	Absence de la couleur violette.
<b>Alcaloïdes</b>	-	Absence d'un précipite blanc ou brun.	-	Absence d'un précipite blanc ou brun.

(-): Test négatif    (+) : Test faiblement positif    (++) : Test positif    (+++) : Test fortement positif

- ❖ Les résultats montrent la présence de polyphénols, flavonoïdes et les tanins en forte quantité (+++) dans la matière végétale de *Polygonum aviculare*. Alors que les saponines, les stéroïdes et triterpène et les alcaloïdes sont absentes (-) dans cette plante. En ce qui concerne la plante *Zygophyllum album*, elle contenait une faible quantité de polyphénols et de flavonoïdes (+) avec la présence des tanins en forte quantité et l'absence de stéroïdes et triterpène et d'alcaloïdes (-) dans cette plante.



**Figure 48.** Résultats des tests phytochimiques des plantes *P. aviculare* et *Z. album*.

- (a) les alcaloïdes, (b) les flavonoïdes, (c) les polyphénols, (d) les saponines, (e) les stéroïdes et triterpènes, (f) les tanins.

## 2. Discussion

### 2.1. Activité antibactérienne

Il est toujours considéré que les extraits de plantes sont de nouvelles ressources d'agents thérapeutiques, y compris des agents antimicrobiens qui pourraient être utilisés comme des alternatives aux antibiotiques pour traiter les bactéries résistantes aux antibiotiques. Pendant cette étude, on a examiné l'efficacité antibactérienne des extraits méthanoliques et éthanoliques des deux espèces végétales (*Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*) vis-à-vis de huit bactéries pathogènes Gram-positives et Gram-négatives, par la méthode de diffusion sur disque en utilisant 2 concentrations (100 et 200 mg/ml).

Les deux extraits méthanoliques et éthanoliques des deux plantes médicinales testées, *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*, ont montré des activités antibactériennes distinctes à l'égard des souches bactériennes testées avec une grande variabilité des zones d'inhibition. L'extrait méthanolique de *P. aviculare* était le plus efficace sur les différentes souches que les autres extraits et a montré une activité antibactérienne plus forte vis-à-vis des bactéries à Gram négatif telles que *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 et *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (19 mm). Les résultats ont également montré une activité prononcée à l'égard des bactéries Gram positives, telles que *Staphylococcus aureus* ATCC 27923 (13.5 mm), ce qui indique que cet extrait de plantes peut avoir un large spectre d'activité. De même, l'extrait éthanolique de *P. aviculare* a révélé que les bactéries Gram négatives, telles que *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 et *Escherichia coli*, ont été les plus sensibles à l'extrait. Cependant, il a montré une faible activité vis-à-vis des bactéries à Gram positif, comme *Staphylococcus aureus* ATCC 27923. Ces résultats corroborent les travaux de **Salama et al., (2010)** qui ont montré une activité antibactérienne de l'extrait éthanolique et de chloroforme de *Polygonum aviculare* vis-à-vis de *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* et *Streptococcus pyogenes*, etc. Nos résultats sont en accord également avec les études antérieures de **Zhang et al., (2013)**, qui ont rapporté que l'extrait éthanolique de *Polygonum aviculare* a montré une forte activité inhibitrice à l'égard des souches testées à Gram négatif (*A. Baumannii* et *P. aeruginosa*) et à Gram positif (*S. aureus*), indiquant que cet extrait de plante peut avoir un large spectre d'activités antimicrobiennes.

D'autre part, les résultats obtenus sur l'évaluation de l'activité antibactérienne des deux extraits méthanoliques et éthanoliques de *Z. album* ont révélé que les bactéries à Gram négatif, telles que *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, ont montré une forte à une faible sensibilité à la concentration de 200 mg/ml des extraits. Par ailleurs, une absence

d'effet inhibiteur ou bien une faible activité sur les bactéries Gram positives ont été observées. **Belmimoun et al., (2016)** ont montré au cours de leur étude, que l'extrait méthanolique de *Z. album* était le plus efficace sur les différentes souches et a montré une activité antibactérienne plus forte à l'égard de *E.coli* et *B. subtilis* (15-14 mm) respectivement.

En revanche, les études de **Mostafa et Essawy, (2016)** ont indiqué que l'extrait méthanolique de *Z. album* a provoqué une inhibition de la croissance chez les espèces bactériennes *B. subtilis*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* avec un niveau d'inhibition était significativement plus élevé chez *P. aeruginosa* (15 mm). Contrairement à nos résultats, **Sharaf et al., (2021)** ont rapporté également que l'extrait éthanolique brut de *Zygophyllum album* a un potentiel antibactérien très efficace vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 avec un diamètre de zone d'inhibition allant de 12 à 22 mm. Cette variation des résultats entre les extraits peut être expliquée par les facteurs environnementaux locaux qui influencent la puissance des plantes médicinales, comme la température, les nutriments et la géographie, entre autres. La différence de résultats observée entre les souches peut être liée à la nature de la souche bactérienne testée et à la composition chimique de chaque extrait (**Bouyahya et al., 2017**). Plusieurs études ont rapporté que les extraits de plantes sont généralement plus actifs sur les bactéries Gram-positives que les bactéries Gram-négatives (**Gutiérrez- Larrainzar et al., 2012 ; Salmanian et al., 2014**). De plus, la résistance bactérienne aux extraits des plantes est liée à la nature de la membrane externe des Gram négatifs, qui confère une résistance à la plupart des biocides (**Kchaou et al., 2016**) en bloquant la pénétration des molécules hydrophobes telles que les polyphénols (**Inouye et al., 2001**).

En outre, la composition phytochimique des plantes est liée à leur teneur en composés actifs, qui sont produits principalement par les plantes comme défense contre les herbivores ou contre les infections par des micro-organismes, et au processus d'extraction. Selon la littérature, il existe une relation étroite entre les composés flavoniques, les composés phénoliques et les activités antibactériennes (**Bijondi et al., 1993 ; Jiménez et Garcia-Carmona, 1999 ; Kavitha et Richard, 2010**).

Le principal mécanisme rapporté pour l'activité antimicrobienne des extraits de plantes est attribué à la perturbation de la membrane par les composés phénoliques. Dans le cas des composés phénoliques, la lyse de la paroi cellulaire, les dommages à la membrane du cytoplasme et des protéines bactériennes peuvent provoquer une fuite de l'ultrastructure cellulaire et, par conséquent, la mort cellulaire (**Negi, 2012**).

En ce qui concerne l'absence d'activité antimicrobienne, cela ne signifie pas que les composés bioactifs ne sont pas présents dans la plante ou que la plante n'a pas d'activité antimicrobienne à l'égard des microorganismes, puisque divers facteurs tels que le solvant utilisé dans l'extraction des métabolites, le temps d'extraction et l'évaporateur rotatif utilisés lors de l'extraction peuvent influencer le processus d'extraction des métabolites secondaires (**Hanoun et al., 2023**).

Les résultats obtenus confirment à nouveau l'efficacité des extraits de plantes médicinales et leur capacité antiseptique qui rivalise avec celle des médicaments antibiotiques.

## 2.2. Dosage spectrophotométrique de flavonoïdes et polyphénols

Au cours de cette étude, des analyses quantitatives des extraits méthanolique et éthanolique de *Z. album* et *P. aviculare* ont été effectuées pour déterminer la teneur totale de polyphénols et de flavonoïdes en utilisant des dosages spectrophotométriques. Les polyphénols étaient présents dans les deux extraits de *Zygophyllum album*, avec une concentration de  $19,55 \pm 1,79$   $\mu\text{g EAG/mg Es}$  pour l'extrait méthanolique et de  $25,40 \pm 2,39$   $\mu\text{g EAG/mg Es}$  pour l'extrait éthanolique. Par ailleurs, on a enregistré des teneurs en flavonoïdes dans les extraits de *Zygophyllum album*, qui correspondaient à  $19,14 \pm 6,11$   $\mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait méthanolique et de  $21,40 \pm 0,98$   $\mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait éthanolique.

**Belguidoum et al., (2015)** ont rapporté également que l'extrait hydroéthanolique de la partie aérienne de *Zygophyllum album* collectée dans la ville de Ouargla Sahara, dans le sud-est de l'Algérie contenait une teneur de polyphénols totaux de  $5,118 \pm 0,105$   $\text{mg GAE/g}$  et une teneur de flavonoïdes de  $2,393 \pm 0,061$   $\mu\text{g QE/g}$ . De plus, les études menées par **Belmimoun et al., (2016)** sur l'extrait méthanolique de la partie aérienne de *Zygophyllum album* recueillie de la région de Sidi Khouiled (Sahara d'Ouargla) avaient des teneurs de :  $6,766 \pm 0,628$   $\text{mg GAE/g}$  pour les polyphénols et  $1,610 \pm 0,020$   $\text{mg EC/g}$  pour les flavonoïdes. Cette variation en contenu phénolique peut être due à la saison de collecte, de la localisation géographique et de la température (**Ouffai et al., 2022**).

Par ailleurs, les résultats des polyphénols des extraits de *P. aviculare*, ont montré que les deux extraits méthanolique et éthanolique contenaient des teneurs de  $161,99 \pm 11,93$   $\mu\text{g EAG/mg Es}$  et de  $158,73 \pm 8,36$   $\mu\text{g EAG/mg Es}$  respectivement. En ce qui concerne les flavonoïdes, les résultats ont révélé une valeur de  $30,87 \pm 3,76$   $\mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait méthanolique et  $46,43 \pm 5,82$   $\mu\text{g EQ/mg Es}$  pour l'extrait éthanolique. Nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Hsu (2006)**, au cours de leur étude réalisée sur l'extrait éthanolique de *Polygonum aviculare* qui ont révélé une teneur en polyphénols de  $(677,4 \pm 62,7)$   $\mu\text{g EAG/mg}$  et en flavonoïdes  $(112,7 \pm 13)$   $\mu\text{g EAG/mg}$ .

**Wu et al., (2021)** ont montré au cours de leur étude, que les composés phénoliques totaux des extraits éthanolique et méthanolique des feuilles de *Polygonum aviculare* collectées dans la Chine étaient de 40 µg EAG/mg et 45 µg EAG/mg respectivement, et les flavonoïdes des extraits éthanolique et méthanolique étaient de 38 µg EQ/mg et 40 µg EQ/mg respectivement.

Par ailleurs, **Cai et al., (2020)** ont montré également que l'extrait éthanolique de feuilles de *polygonum aviculaire* collectées à partir de Linyi ville, province de Shangdong, Chine, contenait une teneur en composés phénoliques de (18.5 ± 0.66 mg GAE/g) et en flavonoïdes (19.78 ± 0.67 (mg RE/g).

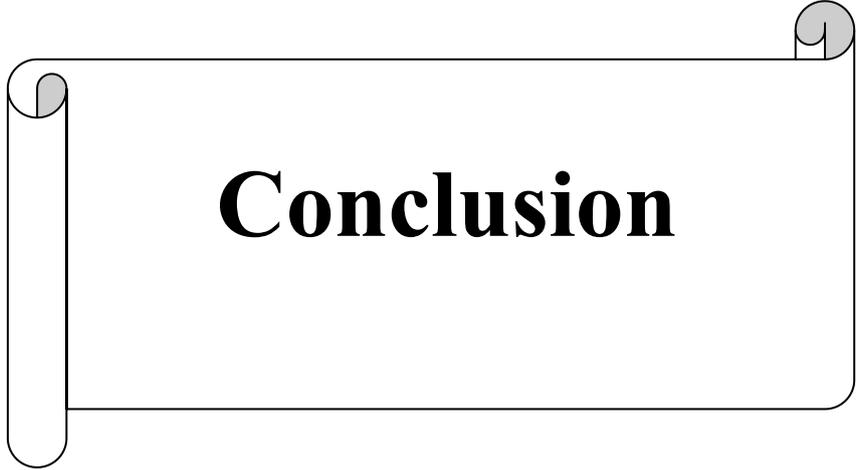
### 2.3. Screening phytochimique

La présence de plusieurs familles de composés actifs a été confirmée par des tests phytochimiques effectués sur la matière végétale des deux plantes *P. aviculare* et *Z. album*. Les résultats ont montré la présence de polyphénols, les tanins et les flavonoïdes en quantité importante dans la matière végétale de *Polygonum aviculare*. Alors que les saponines, les stéroïdes, les triterpènes et les alcaloïdes étaient absents dans cette plante. En ce qui concerne la plante *Zygophyllum album*, elle contenait une faible quantité de polyphénols et de flavonoïdes et une forte quantité des tanins. En ce qui concerne les stéroïdes, les triterpènes et les alcaloïdes étaient absents dans cette plante.

Les recherches menées par **Belmimoun et al., (2016)** ont montré que la plante *Zygophyllum album* renferme des saponines et des tanins et exempte d'alcaloïdes et de flavonoïdes.

Par, ailleurs, la présence de flavonoïdes dans notre plante *Zygophyllum album* a été montré par les recherches menées par **Shawky et al., (2019)**, qui ont révélé la présence de flavonoïdes et d'autres composés dans la plante *Zygophyllum album*.

En revanche, nos résultats concernant *Polygonum aviculare* (les composés phénoliques, les tanins et les flavonoïdes) sont en accord avec les résultats de **Yunuskhodzhaeva et al., (2010)** qui ont analysé la composition chimique de l'herbe *P. aviculare* collectée pendant la floraison à Tashkent. Leurs résultats ont indiqué la présence de flavonoïdes, de tanins, des composés phénoliques et des saponines.



**Conclusion**

### Conclusion et perspective

La phytothérapie se focalise sur l'emploi des extraits de plantes afin de soigner ou d'éviter les maladies. Des composés actifs tels que des alcaloïdes, des flavonoïdes, des terpènes, des tanins, etc., sont présents dans les plantes médicinales et peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé. Ces substances peuvent avoir des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, anticancéreuses et bien d'autres fonctions. Notre travail s'est concentré sur l'évaluation des propriétés antibactériennes et la caractérisation de la composition phyto-chimique de ces plantes dans le but de confirmer l'utilisation traditionnelle des espèces végétales *Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album*.

En effet, les tests d'activité antibactérienne des extraits méthanolique et éthanolique des deux espèces végétales étudiées réalisés *in vitro* vis-à-vis de huit souches bactériennes à Gram positif et négatif, ont montré que l'extrait méthanolique de *P. aviculare* était le plus efficace sur les différentes souches que les autres extraits et a montré une activité antibactérienne plus forte vis-à-vis des bactéries à Gram négatif. Ce qui indique que cet extrait de plante peut avoir un large spectre d'activité. D'autre part, les deux extraits méthanoliques et éthanoliques de *Z. album* ont révélé que les bactéries à Gram négatif, ont montré une forte à une faible sensibilité à la concentration de 200 mg/ml des extraits. Par ailleurs, une absence d'effet inhibiteur ou bien une faible activité sur les bactéries Gram positives a été observée.

En outre, les données des dosages des polyphénols ont révélé que les deux extraits méthanolique et éthanolique de la plante *Polygonum aviculare* contenaient des teneurs de  $161.99 \pm 11.93$   $\mu\text{g}$  EAG/mg Es et  $158.73 \pm 8.36$   $\mu\text{g}$  EAG/mg respectivement et une teneur en flavonoïdes de  $30.87 \pm 3.76$   $\mu\text{g}$  EQ/mg Es dans l'extrait méthanolique et  $46.43 \pm 5.82$   $\mu\text{g}$  EQ/mg Es dans l'extrait éthanolique. Par ailleurs, les extraits de méthanolique et éthanolique *Zygophyllum album* ont montré des valeurs en polyphénols de  $19.55 \pm 1.79$   $\mu\text{g}$  EAG/mg et  $25.40 \pm 2.39$   $\mu\text{g}$  EAG/mg respectivement et des teneurs en flavonoïdes de  $19.14 \pm 6.11$   $\mu\text{g}$  EQ/mg Es dans l'extrait méthanolique et  $21.40 \pm 0.98$   $\mu\text{g}$  EQ/mg Es dans l'extrait éthanolique. Selon le screening phytochimique, il a été constaté que la partie aérienne de la plante *Polygonum aviculare* était très riche en tanins, flavonoïdes et composés phénoliques. En revanche, les tanins et saponines étaient extrêmement abondants dans la partie aérienne de la plante *Zygophyllum album*, tandis que flavonoïdes et polyphénols étaient moins abondants.

## **Conclusion**

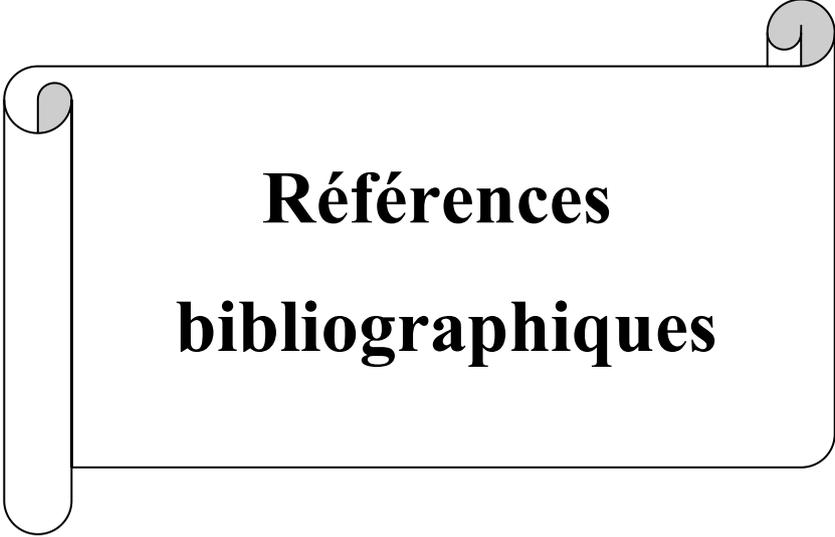
---

---

Etant donné que les propriétés pharmacologiques potentielles de l'extrait de plante peuvent être attribuées à ces composés, comme ses effets antibactériens, cela suggère un potentiel prometteur pour l'emploi de l'extrait de ces plantes dans des domaines médicaux ou thérapeutiques.

L'ensemble de ces résultats ne constitue qu'une première étape dans la recherche de substances et sources naturelles biologiquement actives. Des essais complémentaires seront nécessaires et devront pouvoir confirmer les performances mises en évidence.

- Il serait souhaitable de compléter et approfondir ce travail par une étude phytochimique plus détaillée.
- Il serait intéressant d'effectuer des tests complémentaires, tels que des études cinétiques de croissance bactérienne.
- Des tests de synergisme avec des antibiotiques couramment utilisés, ou des études de cytotoxicité sur des cellules humaines pour évaluer la sélectivité de l'activité antibactérienne.



**Références  
bibliographiques**

### Références bibliographiques

#### -A-

**Adjanohoun, E.J., & Aké-Assi, L. (1979).** Contribution au recensement des plantes médicinales de Côte d'Ivoire. Centre National de Floristique, vol (1), P.358.

**Agidew, M.G. (2022).** Phytochemical analysis of some selected traditional medicinal plants in Ethiopia, Bulletin du Centre National de Recherche, 46:87, p. 22.

**Amjad, H. (2005).** Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielle et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen, thèse de Docotrat. Université de Tlemcen, 140 p.

**Augustino, S., & Gillah, P.R. (2005).** Medicinal Plants in Urban Districts of Tanzania: Plants, Gender Roles and Sustainable Use. International Forest Review, 7(1), 44-58.

**Awaad A.S., EL-Meligy R.M., & Soliman G.A. (2012).** Natural products in treatment of ulcerative colitis and peptic ulcer. Journal of Saudi Chemical Society, 17, 101–124.

**Ayatollahi-Moosavi, S.A., Abdollahi, H., Kazemipour, N., & Kerman, Med J. (1996).** Study of anti-dermatophyte effect of ten herbal methanolic extract. J Kerman Med Univ Sci, 3(3), P.115-122.

#### -B-

**Bahorun, T. (1997).** Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. AMAS. Food and agricultural research, pp. 83-94.

**Baiba, J. (2015).** Assessment report on *Polygonum aviculare L.*, herba. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC), 33 pp.

**Balunas, M.J., & Kinghorn, D. (2005).** Drug discovery from medicinal plants. Elsevier Life Sciences, Vol (78), 431-441.

**Barchan, A., Bakkali, M., Arakrak, A., & Laglaoui, A. (2016).** Effet antibactérien et antibiofilm de trois espèces de *Mentha* : *Mentha spicata*, *Mentha pulegium* et *Mentha piperita*. Phytothérapie, 14 (2), p.1.

**Barton, G.M. (2008).** A calculated response: control of inflammation by the innate immune system. J Clin Invest, 118, pp 413-420.

## Références bibliographiques

---

- Basri, D.F., & Fan, S.H. (2005).** The potential of aqueous and acetone extracts of galls of *Quercus infectoria* as antibacterial agents. *Indian journal of Pharmacology*, 37(1).26 p.
- Belaiche, P. (1979).** Treaty of herbal medicine and aromatherapy. The aromatoigramme (Doctoral dissertation, Maloine SA Paris), vol (1).
- Belguidoum, M., Dendougui, H., & Kendour, Z. (2015).** In vitro antioxidant properties and phenolic contents of *Zygophyllum album L.* from Algeria. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(1), 510–514.
- Bellakhdar, J. (1997).** Contribution à l'étude de la pharmacopée traditionnelle au Maroc : la situation actuelle, les produits les sources du savoir, Thèse de doctorat en science de la vie. Université de Metz-France, P.628.
- Belmimoun, A., Meddah, B., Meddah, A.T., & Sonnet, P. (2016).** Antibacterial and antioxydant activities of the essential oils and phenolic extracts of *Myrtus communis* and *Zygophyllum album* from Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, Vol 8(2), 510-524.
- Bézanger-Beauquesne, L. (1958).** Les alcaloïdes dans les plantes. *Bulletin de la Société Botanique de France*, vol 105(5-6), 266-291.
- Bibard, V. (2010).** Mercuriel annuelle, renouée liseron, renouée des oiseaux: quelles solutions pour les contrôler dans le maïs. *The CABI Digital Library*, Vol (197),460-469.
- Bijondi, D., Cianci, P., Geraci, C., & Ruberto, G. (1993).** Antimicrobial and chemical composition of essential oils from Sicilian aromatic plants, *Flavour Frag. J.*, Vol. 8, 331- 377.
- Boizot, N., & Charpentier, J.P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en Composés phénoliques des organes d'un arbre foustier. *Le cahier des techniques de l'Inra*,79-82.
- Borzeix, M., & Borzeix, D. (1986).** Les plantes médicinales du limousin. édition: Les Monédières, P.142.
- Boumaza, A. (2009).** Effet de l'extrait méthanolique de *Zygophyllum cornutum coss* contre le stress oxydant associé au diabète sucré et les organes en relation. Thèse Magister, Université Mentouri-Constantine, Algérie ,152 p.
- Bourkhiss, M.B., Hnach, M., Paolini, J., Costa, J., Farah, A., & Satrani, B. (2010).** Propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires des huiles essentielles des différentes parties de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters du Maroc. *Bulletin de la Société royale des sciences de Liège*, 79, 141 – 154.

## Références bibliographiques

---

**Bouyahya, A., Abrini, J., Bakri, Y., & Dakka, N. (2017).** Phytochemical Screening and Evaluation of Antioxidant and Antibacterial Activities of *Origanum compactum* Extracts. Phytothérapie Lavoisier SAS 2017.

**Bruneton, J. (1993).** Pharmacognosie : Phytochimie plantes médicinales. 2e édition, Lavoisier, Paris, 915 p

**Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème éd. Tec & Doc, Paris, 150 p.

**Bruneton, J. (2009).** Pharmacognosie, Phytochimie, plantes médicinales, 4 ème edition. Lavoisier, 1292 p.

**Budel, J.M., Farago, P.V., Duarte, Md.R., & Takeda, I.J. (2007).** Etude morpho-anatomique des cladodes de *Homalocladium platycladum* (FJ Muell.) LH Bailey (*Polygonaceae*). Révérénd Bras Farmacogn, 17, 39-43.

**Bureau, L. (2016).** Plantes, compléments alimentaires et nutraceutique, une réglementation complexe. Actualités pharmaceutiques, Vol (55), 5-10.

**-C-**

**Cai, Y., Wu, L., Lin, X., Hu, X., & Wang, L. (2020).** Phenolic profiles and screening of potential  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Polygonum aviculare* L. leaves using ultra-filtration combined with HPLC-ESI-qTOF-MS/MS and molecular docking analysis. Industrial Crops and Products, 154, 112673.

**Catier, O., & Roux, D. (2007).** Botanique, pharmacognosie, phytothérapie : Cahier du préparateur en pharmacie (3ème ed: Wolters Kluwer).

**Cazin, I., Rossegger, E., de la Cruz, G.G., Griesser, T., & Schlögl, S. (2020).** Recent Advances in Functional Polymers Containing Coumarin Chromophores. Polymers, vol. 13(1), p. 56.

**Celikel, N., & Kavas, G. (2007).** Antimicrobial Properties of some oils against Some Pathogenic Microorganisms, vol.26.n°3, p.174-181.

**Chaachouay, N. (2020).** Etude Floristique et Ethnomédicinale des Plantes Aromatiques et Médicinales dans le Rif (Nord du Maroc). Thèse de doctorat en Sciences de la Vie et de l'Environnement. Université Ibn Tofail – Kénitra, P.245.

**Chabrier, J.Y. (2010).** Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Henri Poincaré - Nancy 1, P.183.

## Références bibliographiques

---

**Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002).** Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J. Food Drug Analysis*, 10, 178-182.

**Chaouche, T.M., Haddouchi, F., Ksouri, R., Medini, F., & Atik-Bekara, F. (2013).** Évaluation in vitro de l'activité antioxydante d'extraits hydro-méthanoliques de *Juniperus oxycedrus subsp. oxycedrus*. *Phytothérapie*, 11(4), 244-249.

**Chehma, A. (2006).** *Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien*.

**Chin-Yuan, H., Yu-Pei, C., & Jeli, C. (2007).** Activité antioxydante de l'extrait de *Polygonum aviculare L.* *Biol Res*.

**Clément, D. (1969).** Contribution à l'étude de la structure d'une saponine extraite d'une *securidaceae Longipedunculata*, thèse inédite, Université de Liège.

**Costea, M., & Tardif, F.J. (2004).** The biology of Canadian weeds. 131. *Polygonum aviculare L.* *Canadian journal of plant science*, Vol (85), 481-506.

**Costea, M., & Tardif, F.J. (2005).** A review and assessment of biological information as well as personal data are provided for *Polygonum aviculare* in Canada, 85, 481–506.

**Courvalin, P., Drugeon, H., Flandrois, J.P., & Goldstein, F. (1990).** Bactericide Aspects théoriques et thérapeutiques, p. 110.

**Cram, D.J., Hammond, G.S., & L'ecuyer, P. (1968).** *Chimie organique*. Ed. Gauthiersvillars, Paris les presses de l'université Laval.

### **-D-**

**Dar, R.A., Shahnawaz, M., & Qazi, P.H. (2017).** General overview of medicinal plants: A review. *The Journal of Phytopharmacology*, Vol(6), 1-3.

**Delaunay, J. (1988).** *Biochimie*. Hermann éditeurs des sciences et des arts, Paris, 733p.

**Delaveau, P. (1987).** Les épices, histoire, description, et usage des différents épices, aromates et condiments. (Ed) Albin Michel, 372p.

**Delille, L. (2007).** *Les plantes médicinales d'Algérie*. édition: Berti, P.239.

**Dey, P., Kundu, A., Kumar, A., Gupta, M., Lee, B.M., Bhakta, T., Dash, S., & Kim, H.S. (2020).** Analysis of alkaloids (indole alkaloids, isoquinoline alkaloids, tropane alkaloids). Dans Elsevier eBooks, p. 505-567.

## Références bibliographiques

---

**Dhruba, K., Yadav, U., Sangram, K., Bijay, Kh., BasuDev, P., Gyeongik, A., JoonYung, Ch., Woe-Yeon, K., Sung-Ho, L., & Sangeeta, R. (2024).** Assessing the risks to valuable medicinal plants in Nepal from human activities and environmental factors. *Global ecology and conservation*, Vol (51), 2-15.

**Dorman, H.J.D. (2000).** Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oil. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 308-316.

### -E-

**Elhalim, M.E. A., Abo-Alatta, O., Habib, S.A., & Elbar, O.H.A. (2016).** The anatomical features of the desert halophytes *Zygophyllum album L.F.* and *Nitraria retusa* (Forssk.) Asch. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(1), 97–104.

**El Mtiai, W. (2023).** Les formes d'utilisation des plantes médicinales. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Mohammed V de Rabat, P.166.

### -F-

**Farahpour, M., & Habibi, M. (2012).** Évaluation de l'activité cicatrisante d'un extrait éthanolique de cannelle de Ceylan chez la souris. *Veterinárni Medicína*, Vol 57 (n° 1), pp. 53-57.

**Fogelfors, H. (1984).** Mauvaises herbes utiles, Partie 14. *Lantmannen*, 105(16):43.

**Fougère, B., & Wynn, S.G. (2007).** *Veterinary Herbal Medicine*. édition: Elsevier, P.728.

**Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Pereira, A.G., Lourenço-Lopes, C., Jimenez-Lopez, C., Prieto, M.A., & Simal-Gandara, J. (2020).** Technological Application of Tannin-Based Extracts. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 25(3), 614.

**Frankel, E.N. (1998).** *Lipid Oxidation*. La presse huileuse Dundee, Écosse. Ltd., Bridgewater

### -G-

**González, M.B., Yslas, N., Reyes, E., Quiroz, V., Santana, J., & Jimenez, G. (2001).** Clinical effect of a Mexican *Sanguinaria* extract (*Polygonum aviculare L.*) on gingivitis, *J. Ethnopharmacol*, (74), 45–51.

**Goudjil, M.B. (2016).** Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques. Thèse de doctorat en génie des procédés et environnement. Université Kasdi Merbah – Ouargela, P.173.

## Références bibliographiques

---

**Gutiérrez-Larraínzar, M., Rúa, J., Caro-Castro, C.D., Arriaga, D.D., García Armesto, M.R., & Valle, P.D. (2012).** Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activities of Natural Phenolic Compounds against Foodborne Pathogens and Spoilage Bacteria. *Food Control*, 26, 555-563.

### -H-

**Habibi, R.M., Mohammadi, R.A., Delazar, A., Halabian, R., Soleimani, R.J., Mehdipour, A., Bagheri, M., & Jahanian-Najafabadi, A. (2011).** Effect of *Polygonum aviculare* herbal extract on proliferation and apoptotic gene expression of MCF-7, DARU, 19, 326–331.

**Haddouchi, F., Chaouche, T.M., Zaouali, Y., Ksouri, R., Attou, A., & Benmansour, A. (2013).** Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from four *Ruta* species growing in Algeria. *Food Chemistry*, 141(1), 253-258.

**Hadjadj, S., Sekerifa, B.B., Khellafi, H., Krama, Kh., Rahmani, S., & Ould El Hadj-Khelil, A. (2022).** Salinité et type d'effets du sel sur les caractéristiques de germination des graines de la plante médicinale *Zygophyllum album L. (Zygophyllaceae)* originaire du Sahara algérien. *Journal de Recherche Appliquée sur les Plantes Médicinales et Aromatiques*, Vol(31).

**Halliwell, B., & Gutteridge, J.M.C. (2007).** *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Oxford (fourth edition).

**Hammer, K.A. (1999).** Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86, 985-990.

**Hammoudi, R. (2015).** Activités biologiques de quelques métabolites secondaires extraits de quelques plantes médicinales du Sahara méridional algérien. Thèse de doctorat en biologie. Université Kasdi Merbah – Ouargela, P.152.

**Hamilton, A.C. (2004).** Medicinal plants conservation and livelihoods, biodiversity and conservation, 18 (8), 1477-1517.

**Hanoun, S., Agaba, I., Agoun, I., Ahmed Gaid, K., Mellal, H., Chenna, H., & Aroua Kh. (2023).** Phytochemical Screening and In Vitro Antibacterial Activity of Methanol Extract of *Thymelaea hirsuta* and *Anacyclus pyrethrum* from Algeria against Multi-Drug Resistant Bacteria Associated with Skin Infections. *Tropical Journal of Natural Product Research*, Vol 7(5), 2935-2939.

**Harborne, J. (1998).** *Phytochemical Methods: A guide to moderne techniques of plant analysis* 3ème Ed.: chapman and hill, 303 p.

## Références bibliographiques

---

**Hillisse., (2007).** Encyclopédie des plants de la région d'Oued Souf Ed. El-Walide, El-Oued, 302p.

**Holm, L.G., Pancho, J.V., Herberger, J.P., & Plucknett, D.L. (1979).** A geographical atlas of world weeds. New York, USA: John Wiley and Sons, 391 pp.

**Hostettmann, K., & Marston, A. (1995).** Saponins. Cambridge University Press, Cambridge, 564.p.

**Hotamisligil, G.S. (2017).** Inflammation, metaflammation and immunometabolic Disorders. Nature, Vol(542), 177-185.

**Hsu, C.Y. (2006).** Antioxidant activity of extract from *Polygonum aviculare L*, Biol. Res, (39), 281–288.

**Hussein, A., & El-Anssary, A.A. (2019).** Plants Secondary Metabolites: The Key Drivers of the Pharmacological Actions of Medicinal Plants in Herbal Medicine. Éd: IntechOpen.

### -I-

**Inouye, S., Yamaguchi, H., & Takizawa, T. (2001).** Screening of the antibacterial effects of variety of essential oils on respiratory tract pathogens, using a modified dilution assay method. J Infect. Chemother, 7:251, p 4.

**Iserin, P. (2001).** Encyclopédie des plantes médicinales. Larousse, 335 p.

**Iwalewa, E.O., McGaw, L.J., Naidoo, V., & Eloff, J.N. (2007).** Inflammation: the foundation of diseases and disorders. A review of phytomedicines of South African origin used to treat pain and inflammatory conditions. African Journal of Biotechnology, Vol (6), 2868-2885.

### -J-

**Jacques Folo, L. (2014).** Screening chimique, extraction et caractérisation des groupes phytochimiques des plantes traitant les maladies cutanées dans la région de la Tshopo. Mémoire de licence en chimie analytique. Université de Kisangani, P.53.

**Jawerth, N. (2020).** Les maladies infectieuses. La contribution de la science nucléaire face aux maladies infectieuses. Bulletin de l'Aiea, p. 4.

**Jiménez, M., & Garcia-Carmona, F. (1999).** Myricetin, an antioxidant flavonol is a substrate of polyphenol oxidase, J. Sci. Food Agric., Vol. 79 (14), 1993-2000.

**John, K.K., Shcherazade, O.F., Georges, A., Ernest, Z.N., Roger, K.K., Emile, B.K., Mireille, K.T.K., Jean-Jacques, K.K., & Severin, K. (2021).** Activité Anti-Inflammatoire et études

## Références bibliographiques

---

phytochimiques de l'extrait aqueux des écorces *Distemonanthus benthamianus* baill. (*Caesalpinaceae: leguminosae - Caesalpinioideae*). European Scientific Journal, 17(7).

### -K-

**Karumi, Y., Onyeyili, P.A., & Ogugbuaja, V.O. (2004).** Identification of Active Principles of *M. balsamina* (Balsam Apple) Leaf Extract. Journal of Medical Sciences, (4), 179-182.

**Kavitha, P., & Richard, A.H. (2010).** Use of Natural Antimicrobials to Increase Antibiotic Susceptibility of Drug Resistant Bacteria. Int.J. Food Microbiol, 140, 164- 168.

**Kchaou, M., Ben Salah, H., Mnafigui, K., Abdennabi, R., Gharsallah, N., Elfeki, A., Damak, M., & Allouche, N. (2016).** Chemical Composition and Biological Activities of *Zygophyllumalbum* (L.) Essential Oil from Tunisia. J. Agr. Sci. Tech, Vol.18, 1499-1510.

**Khan, H. (2014).** Medicinal Plants in Light of History: Recognized Therapeutic Modality. Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine, Vol (19), 1-4.

**Kosalec I., Bakmaz M., Pepeljnjak S. and Vladimir-Knez EICS. (2004).** Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta Pharm.* **54**: 65-72

**Krief, S. (2003).** Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : Surveillance sanitaire et observations de l'alimentation de chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées. Thèse de Doctorat.

### -L-

**Lamaison, J. L., Petitjen-Freytet, C., & Carnat, A. (1990).** Teneurs En Acide Rosmarinique, En Dérivés Hydroxycinnamiques Totaux Et Activité Antioxydante Chez Les Apiacées, Les Borraginacées Et Les Laminacées Médicinales. Annales Pharmaceutiques Françaises, 48 (2), 103-108.

**Levisalles, J., & Jozefowicz, M. (1974).** Chimie organique, composés organiques complexes. Flammarion, paris, 308p.

**Létard, J.Ch., Canard, J.M., Costil, V., Dalbiès, P., Grunberg, B., & Lapuelle, J. (2015).** Phytothérapie – Principes généraux. édition: Hegel, pp.29-35.

**Lugasi, A., Hovari, J., Sagi, K.V., & Biro, L. (2003).** The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. Acta biologica Szegedientis, 47(1-4), 125-119.

### -M-

## Références bibliographiques

---

**Maione, F., Russo, R., Khan, H., & Mascolo, N. (2016).** Medicinal plants with anti-inflammatory activities. *Natural product research*, 30:12, pp.1343-1352.

**Marshall, N.T. (1998).** Searching for a cure: conservation of medicinal wild life resources in East and Southern Africa. Traffic International, Cambridge, United Kingdom, P.112.

**Mauro, N.M. (2007).** Synthèse d'alcaloïdes biologiquement actifs : la (+)-anatoxine-a et la (±)-camptothécine. Thèse de doctorat en chimie. Université Joseph-Fourier - Grenoble I. France. P. 185.

**Meerts, P. (1995).** Phenotypic plasticity in the annual weed *Polygonum aviculare*. *Botanica Acta*, 108(5), 414-424.

**Mehalaine, S.(2018).** Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de quelques plantes médicinales et amélioration de leur production en culture in vitro. Thèse de doctorat en science : amélioration de la production végétale. Oum-El Bouaghi : université Larbi Ben M'hidi, 106P.

**Mnafgui, K., Hamden, K., Salah, H.B., Kchaou, M., Nasri, M., Slama, S., Derbali, F., Allouche, N., & Elfeki, A. (2012).** Inhibitory Activities of *Zygophyllum album*: A Natural Weight-Lowering Plant on Key Enzymes in High-Fat Diet-Fed Rats. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 1–9.

**Mohammedi, Z. (2013).** Etude Phytochimique et Activités Biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud Ouest de l'Algérie. Thèse de Doctorat en Biologie : Substances naturelles, Activités Biologiques et Synthèses. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid, 169P

**Mostafa, R., & Essawy, H.S. (2016).** Ecophysiological analysis of *Zygophyllum album* plant and its allelopathy. *Egypt J. Bot.* 6th. International Con. 11-12. Menoufia Univ., pp 1-18.

**-N-**

**Nafyad, I., & Ameha, K. (2020).** In vitro antibacterial activities of methanol and aqueous leave extracts of selected medicinal plants against human pathogenic bacteria. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 9 (27), 2261-2268.

**Nan, J.X., Park, E.J., Kim, H.J., Ko, G., & Sohn, D.H. (2000).** Antifibrotic effects of the methanol extract of *Polygonum aviculare* in fibrotic rats induced by bile duct ligation and scission, *Biol. Pharm. Bull.* (23), 240–243.

## Références bibliographiques

---

**Narasimhulu, G., Reddy, K.K., & Mohamed, J. (2014).** The genus *Polygonum* (*Polygonaceae*): An ethnopharmacological and phytochemical perspectives: review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(2), pp. 21-45.

**Negi, P.S. (2012).** Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. *International Journal of Food Microbiology*, 156(1), 7–17.

**N'Guessan, K., Kadja, B., Zirihi, G.N., Traoré, D., & Aké-assi, L. (2009).** Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes. *Sciences & Nature*, 6, 1-15.

**Niass, O., Omar, Sarr S., Diop, A., Diop, A., & Diop, Y.M. (2015).** Etude *in vitro* de l'activité antibactérienne de quelques plantes utilisées en médecine traditionnelle locale au Saloum (Sénégal). *ScienceLib Editions Mersenne*, Vol(7), 1-10.

**Nicolas, M., & Daniel, C. (1998).** Activités technologiques en microbiologie I 3 techniques de base et méthodologie, Editeurs CRDP, Bordeaux, pp.152.

**Nogaret, A.S. (2011).** La phytothérapie : Se soigner par les plantes. Edition: Eyrolles, P.192

### **-O-**

**OMS, 1999.** Rapport d'Organisation mondiale de la Santé.

**OMS. (2005).** La résistance aux antimicrobiens: une menace pour la sécurité sanitaire mondiale. A58/14: 1-6.

**Önder, A. (2020).** Anticancer activity of natural coumarins for biological targets in *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier, p. 85-109.

**Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2002).** Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005, Genève, 78 pp.

**Ouffai, K., Azzi, R., Abboou, F., & Lahfa, F. (2022).** Antihemolytic and antioxidant activities of aerial parts extracts of *Zygophyllum album L.* and *Globularia alypum L.* from Algeria. *Journal of Natural Product Research and Applications*, 1(03),41–55.

### **-P-**

**Perveen, S. (2018).** Introductory Chapter : Terpenes and Terpenoids. *Intech Open eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79683>.

**Petrovska, B.B. (2012).** Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognosy Review*, Vol (6), 1-5.

## Références bibliographiques

---

**Popovici, C., Saykova, I., & Tylkowski, B. (2009).** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH, Revue de génie industriel 4, P.25-39.

### -R-

**Rashmi, H.B., & Negi, P.S. (2020).** Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. Food Research International, vol (136), p.25-30.

**Redrejo-Rodriguez, M., & Tejada-Cano, A., & Del Carmen Pinto, M., & Macías, P. (2004).** Lipooxygenase inhibition by flavonoids : semiempirical study of the structure–activity relation. Journal Of Molecular Structure. Theochem, vol (674), p.1-3.

**Raynaud, J. (2006).** Prescription et conseil en aromathérapie. édition: Lavoisier, P.246.

**Ribéreau-Gayon, P. (1968).** Propriétés Chimiques Des Phénols. Applications Aux Produits Naturels. Les Composés Phénoliques Des Végétaux. Ed. Dunod, Paris, France, Pp 28-57.

**Roeding-Penman, A., & Gordon, M.H. (1998).** Antioxidant properties of Myricetin and Quercetin in oil and emulsions. Journal of American Oil Chemist's Society, Vol. 75, p.p. 169- 180.

**Rosine, C., & Momo, D. (2009).** Évaluation de l'activité antidermatophytique des extraits au méthanol et fractions d'*Acalyphamma hirtum (melastomatacees)*. Université de Dschang – Master en biochimie clinique et pharmacologie.

### -S-

**Sánchez-Moreno, C. (2002).** Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. Food science and technology international, 8(3), 121-137.

**Salama, H.M.H., & Marraiki, N. (2010).** Antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Polygonum aviculare L. (Polygonaceae)*, naturally growing in Egypt, Saudi J. Biol. Sci, (17), 57–63.

**Salmanian, S., Sadeghi Mahoonak, A.R., Alami, M., & Ghorbani, M. (2014).** Phenolic Content, Antiradical, Antioxidant, and Antibacterial Properties of Hawthorn (*Crataegus elbursensis*) Seed and Pulp Extract. J. Agr. Sci. Tech., 16, 343-354.

**Sharaf, M.H., El-Sherbiny, G.M., Moghannem, S.A., Abdelmonem, M., Elsehemy, I.A., Metwaly, A.M., & Kalaba, M.H. (2021).** New combination approaches to combat methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). Scientific Reports, 11(1), 1-16.

## Références bibliographiques

---

**Sharifi-Rad, J., Cruz-Martins, N., López-Jornet, P., Lopez, E. P., Harun, N., Yeskaliyeva, B., Beyatli, A., Sytar, O., Shaheen, S., Sharopov, F., Taheri, Y., Docea, A.O., Calina, D., & Cho, W.C. (2021).** Natural Coumarins : Exploring the Pharmacological Complexity and Underlying Molecular Mechanisms. *Oxidative Medicine And Cellular Longevity*,1- 19.

**Shawky, E.M., Gabr, N.M., Elgindi, M.R., & Mekky, R.H. (2019).** A comprehensive review on genus *Zygophyllum*. *Journal of Advanced Pharmacy Research (Online)*, 3(1), 1–16.

**Sheahan, M.C., & Chase, M.W. (1996).** A phylogenetic analysis of *Zygophyllaceae* R.Br. based on morphological, anatomical and rbcL DNA sequence data. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 122(4), 279–300.

**Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos R.M. (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by mean of FolinCiocalteu reagent. *Method.Enzymol*, 299, 152-178.

**Smati, D., Longeon, A., & Guyot, M. (2004).** 3β-(3,4-Dihydroxycinnamoyl)-erythrodiol, a cytotoxic constituent of *Zygophyllum geslini* collected in the Algerian Sahara. *Journal of Ethnopharmacology*, 95(2–3), 405–407.

**Sofowora, A., Ogunbodede, E., & Onayade, A. (2013).** The role and place of medicinal plants in the strategies for disease prevention. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 10(5), 210-229.

**Souddi, M., & Bouallala, M. (2023).** Floristic Diversity of *Zygophyllum album* Communities Associated with Water Towers in the Algerian Sahara. *Advanced Research in Life Sciences*, 7(1), 125–134.

**Srivastava, R. (2000).** Studying the information needs of medicinal plant stakeholders in Europe. *Traffic Dispatches*, (15), 5.

**Sung, Y.Y., Yoon, T., Yang, W.K., Kim, S.J., Kim, D.S., & Kim, H.K. (2013).** The antiobesity effect of *Polygonum aviculare* L. ethanol extract in high-fat diet-induced obese mice, *Evid. Based Complement. Alternat. Med*, 1–11.

**-T-**

**Tunon, H., Olavsdotter, C., & Bohlin, L. (1995).** Evaluation of anti-inflammatory activity of some swedish medicinal-plants - inhibition of prostaglandin biosynthesis and paf-induced exocytosis. *J Ethnopharmacol*, 48, 61–76.

## Références bibliographiques

---

**Tang, S.Y., & Halliwell, B. (2010).** Medicinal plants and antioxidants: What do we learn from cell culture and *Caenorhabditis elegans* studies. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 394, 1-5.

**-U-**

**Ullah, A., Munir, S., Badshah, S.L., Khan, N., Ghani, L., Poulson, B.G., Emwas, A., & Jaremko, M. (2020).** Important Flavonoids and Their Role as a Therapeutic Agent. *Molecules*. Vol 25(22):5243. DOI : [10.3390/molecules25225243](https://doi.org/10.3390/molecules25225243).

**-V-**

**Valgas, C., Souza, S.M.D., Smânia, E.F., & Smânia, Jr. (2007).** Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. *Brazilian journal of microbiology*, 38, 369-380.

**Valnet, J. (1983).** *Phytothérapie, traitement des maladies par les plantes*. Edition: Maloine, pp. 500-512.

**-W-**

**Wagner, H., & Bladt, S. (1996).** *Plant drug analysis: a thin layer chromatography atlas*. Springer Science & Business Media.

**Wang, K.J., Zhang, Y.J., & Yang, C.R. (2005).** Antioxidant phenolic compounds from rhizomes of *Polygonum paleaceum*. *J Ethnopharmacol*, 96:483, 7.

**White, F. (1986).** *La végétation de l'Afrique : mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco/AETFAT/UNSO*. IRD Editions.

**Wichtl, M. (2004).** *Herbal drugs and phytopharmaceuticals*. Wurzburg: Medpharm Scientific Publishers, P.704.

**Wu, L., Chen, Z., Li, S., Wang, L., & Zhang, J. (2021).** Eco-friendly and high-efficient extraction of natural antioxidants from *Polygonum aviculare* leaves using tailor-made deep eutectic solvents as extractants. *Separation and Purification Technology*, 262, 118339.

**-Y-**

**Yamina, M., Zohra, B. F., & Cherifa, C. (2017).** Évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique du romarin: *Rosmarinus officinalis*, *Revue Agrobiologia*, 7(1), 363-370.

## Références bibliographiques

---

**Yunuskhodzhaeva, N.A., Éshbakova, K.A., & Abdullabekova, V.N. (2010).** Flavonoid composition of the herb *Polygonum aviculare*. *Chemistry of Natural Compounds*, 46(5), 803–804.

**-Z-**

**Zhang, L., Ravipati, A.S., Koyyalamudi, S.R., Jeong, S.C., Reddy, N., Bartlett, J., Smith, P., de la Cruz, M., Monteiro, M.C., Melguizo, A., Jiménez, E., & Vicente, F. (2013).** Anti-fungal and anti-bacterial activities of ethanol extracts of selected traditional Chinese medicinal herbs. *Asian Pac. J. Trop. Med*, 6, 673–681.

**Zirihi, G.N., Datté, J.Y., Kra-Adou, K.M., & Grellier, P. (2007).** Phytochemical and pharmacological studies of the alcoholic extract (MFA) of *Fagara macrophylla* (Oliv.) Engl. (*Rutaceae*): the chemical structure of the active compound inducing antipaludic activity. *Journal of Chinese Clinical Medicine*, 2, 205-210.

**Zirihi, G.N., Grellier, P., Guédé-Guina, F., Bodo, B., & Lengo, M. (2005).** Isolation, Characterisation and antiplasmodial activity of steroidal alkaloids from *Funtumia elastic* (Preuss) Stapf. *Biorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 15, 2637-2640.

## Résumé

*Polygonum aviculare* et *Zygophyllum album* sont des plantes médicinales utilisées pour leurs propriétés thérapeutiques. Cette étude évalue l'activité antibactérienne et la composition phytochimique des extraits méthanoliques et éthanoliques de ces plantes récoltées en Algérie. Les extraits contiennent des métabolites secondaires, tels que les flavonoïdes, les composés phénoliques et les tannins. Les extraits méthanolique et éthanolique de *P. aviculare* contiennent respectivement  $161,99 \pm 11,93 \mu\text{g EAG} / \text{mg}$  et  $158,73 \pm 8,36 \mu\text{g EAG} / \text{mg}$  de polyphénols totaux, et  $30,87 \pm 3,76 \mu\text{g EQ} / \text{mg}$  et  $46,43 \pm 5,82 \mu\text{g EQ} / \text{mg}$  de flavonoïdes. Pour *Z. album*, les polyphénols totaux sont de  $19,55 \pm 1,79 \mu\text{g EAG} / \text{mg}$  et  $25,40 \pm 2,39 \mu\text{g EAG} / \text{mg}$ , et les flavonoïdes de  $19,14 \pm 6,11 \mu\text{g EQ} / \text{mg}$  et  $21,40 \pm 0,98 \mu\text{g EQ} / \text{mg}$  pour les extraits méthanolique et éthanolique respectivement. Les résultats de l'efficacité antibactérienne de ces extraits montrent que l'extrait méthanolique de *P. aviculare* possède une activité antibactérienne contre plusieurs bactéries Gram négatives et Gram positive, particulièrement contre *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 et *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603. L'extrait éthanolique montre une activité modérée sauf contre *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. Les extraits de *Z. album* montrent une activité antibactérienne modérée seulement contre les bactéries Gram négatif.

**Mots clés :** Activité antibactérienne, screening phytochimique, *Polygonum aviculare*, *Zygophyllum album*.

## الملخص

*Polygonum aviculare* و *Zygophyllum album* هما نبتتين طبييتين تستخدمان لخصائصهما العلاجية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا وتحليل التركيب الكيميائي النباتي للمستخلصات الميثانولية والإيثانولية لهذه النباتات التي جُمعت في الجزائر. تحتوي المستخلصات على مستقلبات ثانوية، مثل الفلافونويدات والمركبات الفينولية والتانينات. يحتوي المستخلصان الميثانولي والإيثانولي لـ *Polygonum aviculare* على  $161,99 \pm 11,93$  ميكروغرام / ملغ EAG و  $158,73 \pm 8,36$  ميكروغرام / ملغ EAG من إجمالي البوليفينولات على التوالي، و  $30,87 \pm 3,76$  ميكروغرام / ملغ EQ و  $46,43 \pm 5,82$  ميكروغرام / ملغ EQ من الفلافونويدات على التوالي. بالنسبة لـ *Zygophyllum album* فإن إجمالي البوليفينولات هو  $19,55 \pm 1,79$  ميكروغرام / ملغ EAG و  $25,40 \pm 2,39$  ميكروغرام / ملغ EAG، والفلافونويدات  $19,14 \pm 6,11$  ميكروغرام / ملغ EQ و  $21,40 \pm 0,98$  ميكروغرام / ملغ EQ للمستخلصات الميثانولية والإيثانولية على التوالي. تظهر نتائج فعالية مضادات البكتيريا لهذه المستخلصات أن المستخلص الميثانولي لـ *Polygonum aviculare* يتمتع بنشاط مضاد للبكتيريا ضد عدة بكتيريا سلبية الغرام وإيجابية الغرام، خاصة ضد بكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 و *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 يظهر المستخلص الإيثانولي نشاطاً معتدلاً باستثناء ضد *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 تظهر المستخلصات من زيجوفيلوم ألبوم نشاطاً معتدلاً ضد البكتيريا السلبية الغرام فقط.

**الكلمات المفتاحية:** النشاط المضاد للبكتيريا، الفحص الفيتوكيميائي، *Polygonum aviculare*, *Zygophyllum album*.

## *Résumé*

---

---