

Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry of High Education and Scientific
Research
Abbes Laghrou University- Khenchela-
Natural and life sciences Faculty
Molecular and Cellular Biology Department



N° de série :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES **DE MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences de la nature et de la vie**

Filière : **Sciences Biologiques**

Spécialité : **Microbiologie appliquée**

Présenté par :

HAMLAOUI Linda

MENASRI Selma

Thème

***Étude phytochimique et évaluation de l'activité
antibactérienne des extraits de *Teucrium polium* et
d'*Equisetum telmateia****

Mémoire soutenu publiquement le 18/06/ 2025 Devant le jury composé de :

Mme : Oumaima NAILI

MCA, Université Abbès Laghrou Khechechela, Présidente

Mme : Saida HANOUN

MCA, Université Abbès Laghrou Khechechela, Encadreur

Mme : Soumia BOUTARFA

MCA, Université Abbès Laghrou Khechechela, Examinatrice

Année Universitaire 2024/2025

Remerciements

Louange à Dieu le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la volonté, l'espoir et la patience pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à notre promotrice, Dr Hanoun Saïda, pour son soutien précieux, ses encouragements constants et ses échanges scientifiques enrichissants. Elle a toujours été présente avec ses conseils avisés et pleins de sagesse.

Nos sincères remerciements s'adressent à Dr : NAILI Oumaima pour l'honneur qu'elle nous avoir fait en acceptant de présider le jury. Nous tenons également à remercier Dr : BOUTARFA soumia d'avoir accepté d'examiner et juger notre travail

Nous n'oublions pas tous les enseignants du département des sciences de la nature et de la vie de l'université Abbès Laghrour de Khenchela, pour leur aide, leurs conseils et leur soutien, en particulier Dr Maaouf Nozha pour son accompagnement précieux.

Nous remercions aussi tous les membres du laboratoire de l'université Abbes Laghrour de Khenchela – El Hamma, et tout spécialement Sara Mizane, ingénieure au laboratoire de microbiologie, pour son aide précieuse.

Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin.

Merci à vous tous.

Dédicaces

« Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries »

Marcel Proust

Je me dois d'avouer pleinement ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont soutenue durant mon parcours, qui ont su me hisser vers le haut pour atteindre mon objectif. C'est avec amour, respect et gratitude que je dédie ce modeste travail :

♥ *À ma fleur de ma vie ma mère pour sa tendresse, son amour, son affection, sa patience, son sacrifice et ses valeureux conseils durant mes années d'études qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.*

♥ *À mon cher père الله يرحمو pour son sacrifice.*

♥ *À moi-même, pour avoir fait preuve de persévérance et d'endurance face aux défis de ce parcours. Ce travail incarne la force de ma volonté et mon engagement constant envers l'excellence.*

♥ *À ma famille, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices inestimables. Leur encouragement constant a été ma source d'inspiration et de motivation tout au long de ce parcours.*

♥ *À mon encadrante, Dr Hanoun Saida, pour son accompagnement éclairé, la richesse de son expertise et sa patience bienveillante.*

♥ *À mes amis et camarades de classe, pour leur soutien et leur compréhension, ainsi que pour les moments de joie partagés malgré les défis.*

♥ *À tous ceux qui ont croisé mon chemin et ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je vous adresse ma profonde reconnaissance. Ce travail est dédié à vous tous, avec gratitude et affection.*

Linda.

Dédicaces

Grâce à la volonté divine d'Allah, notre Dieu Tout-Puissant et Miséricordieux, qui a guidé le chemin de ma vie, j'ai pu accomplir ce travail modeste que je dédie :

♥*À la lumière de mes yeux, à la source de mon bonheur, ma mère **Saïda**, qui m'a soutenue tout au long de mes études, dont les sacrifices et l'aide m'ont apporté confiance, courage et sérénité.*

♥*À mon cher père **Fateh**, exemple vivant de persévérance, qui m'a enseigné le véritable sens de l'effort tout au long de mon parcours, et à qui je dois tant de sacrifices, de conseils et d'encouragements.*

♥*À ma petite sœur bien-aimée, **Hiba**, pour son soutien constant dans les moments difficiles, merci infiniment pour ton amour inébranlable.*

♥*À mon petit frère **Yassine**, qui sait toujours répandre la joie et le bonheur au sein de notre famille.*

♥*À mon encadrante, **Dr. Hanoun Saïda**, pour avoir dirigé et encadré ce travail avec professionnalisme, pour sa disponibilité et ses précieux conseils.*

♥*À ma chère amie **Linda**, avant d'être ma binôme, pour sa compréhension et sa sympathie.*

♥*À mes amies **Kawthar, Insaf, Krawan, Asma, Aya, Aridj, Chirine**, je vous remercie sincèrement pour vos encouragements tout au long de ce projet.*

♥*À tous mes enseignants, depuis l'école primaire jusqu'à l'université, ainsi qu'à tous mes camarades de la promotion du Master II en Microbiologie appliquée (2024-2025).*

Selma.

Résumé

Cette étude vise à évaluer la composition phytochimique ainsi que les activités antibactériennes et antioxydantes des extraits méthanoliques et éthanoliques des parties aériennes de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia*, récoltées dans la wilaya de Khenchela (Algérie). Les extraits qui ont été obtenus par macération, puis soumis à un criblage phytochimique, ont révélé la présence de métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, composés phénoliques, tanins et terpénoïdes. L'analyse quantitative a montré une richesse notable en polyphénols et flavonoïdes. Pour *T. polium*, l'extrait méthanolique contenait une teneur en polyphénols de $437,66 \pm 41,28$ mg EAG/g et l'extrait éthanolique une teneur de $350,66 \pm 18,00$ mg EAG/g, tandis que les teneurs en flavonoïdes étaient $158,66 \pm 4,16$ mg EC/g pour l'extrait méthanolique et $217,66 \pm 7,02$ mg EC/g pour l'extrait éthanolique. Pour *E. telmateia*, les deux extraits méthanolique et éthanolique contenaient respectivement $411 \pm 35,67$ mg EAG/g et $176,33 \pm 3,05$ mg EAG/g de polyphénols, ainsi que $98,66 \pm 13,31$ mg EC/g et $219 \pm 17,08$ mg EC/g de flavonoïdes. L'activité antibactérienne a été évaluée à deux concentrations (100mg/ml et 200mg/ml) par la méthode de diffusion sur disque vis-à-vis de cinq souches à Gram négatif (*Escherichia coli* 18, *E. coli* 7, *E. coli* ATCC 25422 ; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27953 ; *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603) et deux souches Gram positif (*Staphylococcus saprophyticus* et *Staphylococcus aureus* ATCC 29213). L'extrait éthanolique d'*E. telmateia* a montré une activité antibactérienne à l'égard de toutes les souches testées. Tandis que l'extrait méthanolique présentait un effet inhibiteur modéré voire fort vis-à-vis de toutes les souches excepté la souche *E. coli* 7. En revanche, les extraits (éthanolique et méthanolique) de *T. polium* ont montré une activité antibactérienne variable selon les souches. Une forte inhibition de *S. aureus* ATCC 29213 a été observée avec un diamètre de zone d'inhibition de $23,33 \pm 1,52$ mm pour l'extrait éthanolique et de $21,66 \pm 1,52$ pour l'extrait méthanolique à la concentration de 100mg/ml. L'activité antioxydante, évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH, a révélé une forte capacité antioxydante pour les deux espèces, en particulier pour l'extrait éthanolique de *E. telmateia*, qui a présenté la meilleure activité ($IC_{50} = 0,076 \pm 0,009$ mg/ml) en comparaison avec la quercétine ($0,045 \pm 0,0077$ mg/ml)

Mots clés : Activité antibactérienne, screening phytochimique, Activité Antioxydante, *Teucrium polium*, *Equisetum telmateia*.

Abstract

This study aims to evaluate the phytochemical composition as well as the antibacterial and the antioxidant activities of methanolic and ethanolic extracts from the aerial parts of *Teucrium polium* and *Equisetum telmateia*, collected in the Khenchela province (Algeria). The extracts obtained by maceration and subjected then to phytochemical screening, revealed the presence of secondary metabolites such as flavonoids, phenolic compounds, tannins, and terpenoids. Quantitative analysis showed a notable richness in polyphenols and flavonoids. For *T. polium*, the methanolic extract contained a polyphenol content of 437.66 ± 41.28 mg GAE/g and the ethanolic extract had a content of 350.66 ± 18.00 mg GAE/g, while the flavonoid contents were 158.66 ± 4.16 mg CE/g for methanolic extract and 217.66 ± 7.02 mg CE/g for ethanolic extract. For *E. telmateia*, the methanolic and ethanolic extracts contained 411 ± 35.67 mg GAE/g and 176.33 ± 3.05 mg GAE/g of polyphenols, and 98.66 ± 13.31 mg CE/g and 219 ± 17.08 mg CE/g of flavonoids, respectively. Antibacterial activity was evaluated at two concentrations (100 mg/ml and 200 mg/ml) using the disc diffusion method against five Gram-negative strains (*Escherichia coli* 18, *E. coli* 7, *E. coli* ATCC 25422; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27953; *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603) and two Gram-positive strains (*Staphylococcus saprophyticus* and *Staphylococcus aureus* ATCC 29213). The ethanolic extract of *E. telmateia* showed antibacterial activity against all tested strains, while the methanolic extract exhibited moderate to strong inhibitory effects against all strains except *E. coli* 7. In contrast, the ethanolic and methanolic extracts of *T. polium* showed variable antibacterial activity depending on the strain. A strong inhibition of *S. aureus* ATCC 29213 was observed, with an inhibition zone diameter of 23.33 ± 1.52 mm for the ethanolic extract and 21.66 ± 1.52 mm for the methanolic extract at the concentration of 100 mg/ml. Antioxidant activity, assessed by the DPPH free radical scavenging assay, revealed strong antioxidant potential for both species, particularly for the ethanolic extract of *E. telmateia*, which exhibited the best activity ($IC_{50} = 0.076 \pm 0.009$ mg/ml) in comparison with quercetin (0.045 ± 0.0077 mg/ml) .

Keywords: Antibacterial activity, phytochemical screening, antioxidant activity, *Teucrium polium*, *Equisetum telmateia*.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التركيب الكيميائي النباتي وكذلك الأنشطة المضادة للبكتيريا والمضادة للأكسدة للمستخلصات الميثانولية والإيثانولية للأجزاء الهوائية من نبات *Teucrium polium* و *Equisetum telmateia*، التي جُمعت من ولاية خنشلة (الجزائر). أظهرت المستخلصات التي تم الحصول عليها بواسطة النقع، والتي خضعت لاحقاً لفحص كيميائي نباتي، وجود مركبات ثانوية مثل الفلافونويدات، والمركبات الفينولية، والتانينات، والتربينويدات. وأظهر التحليل الكمي وجود نسبة ملحوظة من البوليفينولات والفلافونويدات. بالنسبة لـ *T. polium*، يحتوي المستخلص الميثانولي على 41.28 ± 437.66 ملغ مكافئ حمض الغال/غ، والمستخلص الإيثانولي على 18.00 ± 350.66 ملغ مكافئ حمض الغال/غ من البوليفينولات، في حين كانت محتويات الفلافونويدات 4.16 ± 158.66 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ (ميثانولي) و 7.02 ± 217.66 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ (إيثانولي). بالنسبة لـ *E. telmateia*، احتوى المستخلصان الميثانولي والإيثانولي على 35.67 ± 411 ملغ مكافئ حمض الغال/غ و 3.05 ± 176.33 ملغ مكافئ حمض الغال/غ من البوليفينولات على التوالي، بالإضافة إلى 13.31 ± 98.66 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ و 17.08 ± 219 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ من الفلافونويدات. تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا عند تركيزين (100 ملغ/مل و 200 ملغ/مل)، باستخدام طريقة الانتشار على الأقراص ضد خمس سلالات من البكتيريا سالبة الجرام *E. coli* 18، *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27953، *Escherichia coli* ATCC 25422، *Escherichia coli* 7 و *Staphylococcus saprophyticus* ATCC 700603 و *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 و سلالتين من البكتيريا موجبة الجرام *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 و *Staphylococcus aureus* ATCC 29213، أظهر المستخلص الإيثانولي لـ *E. telmateia* نشاطاً مضاداً لجميع السلالات المختبرة، في حين أبدى المستخلص الميثانولي تأثيراً مثبطاً متوسطاً إلى قوي ضد جميع السلالات باستثناء السلالة *E. coli* 7. بالمقابل، أظهرت مستخلصات *T. polium* (الإيثانولي و الميثانولي) نشاطاً متغيراً تبعاً للسلالة. وقد لوحظ أقوى تأثير ضد *S. aureus* ATCC 29213، حيث بلغ قطر منطقة التثبيط 1.52 ± 23.33 ملم للمستخلص الإيثانولي. و 21.66 ± 1.52 ملم للمستخلص الميثانولي عند التركيز 100 ملغ/مل. أما النشاط المضاد للأكسدة، الذي تم تقييمه باستخدام اختبار احتجاز الجذر الحر DPPH، فقد أظهر قدرة قوية على مقاومة الأكسدة لكلتا النباتين، وخاصةً المستخلص الإيثانولي لـ *E. telmateia* الذي أظهر أفضل نشاط مضاد للأكسدة $IC_{50} = 0.076 \pm 0.009$ ملغ/مل مقارنة بالكيرسيتين 0.0077 ± 0.045 ملغ/مل.

الكلمات المفتاحية: النشاط المضاد للبكتيريا، الفحص الكيميائي النباتي، النشاط المضاد للأكسدة، *Teucrium polium*،

Equisetum telmateia.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures

Liste des photographies

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Partie bibliographique

Chapitre I : Les plantes médicinales

1. Les plantes médicinales	3
1.1. Histoire des plantes médicinales	3
1.2. Définition des plantes médicinales	3
1.3. Les principales méthodes de préparation des plantes médicinales	4
1.4. Les principes actifs des plantes médicinales	6
1.4.1. Les métabolites primaires	6
1.4.2. Les métabolites secondaires	6
1.5. Domaines d'applications des plantes médicinales	11
1.6. Les activités biologiques des plantes médicinales	11
1.6.1. L'activité anti-oxydante	12
1.6.2. L'activité antibactérienne	12
1.6.3. L'activité anticancéreuse	13
1.6.4. L'activité anti-inflammatoire	13

Chapitre II :Description des plantes étudiées

2. Les plantes étudiées..... 15

Table des matières

2.1. Présentation de <i>Teucrium polium</i> L.	15
2.1.1. Généralités	15
2.1.2. Nomenclature.....	15
2.1.3. Classification botanique.....	15
2.1.4. Description botanique.....	16
2.1.5. Origine et distribution	17
2.1.6. Composition chimique	17
2.1.7. Utilisation traditionnelle et médicinale	18
2.2. Présentation d' <i>Equisetum telmateia</i>	18
2.2.1. Généralités	18
2.2.2. Nomenclature.....	19
2.2.3. Classification botanique.....	19
2.2.4. Description botanique.....	20
2.2.5. Origine et distribution	21
2.2.6. Composition chimique	21
2.2.7. Utilisation traditionnelle et médicinale	21

Partie expérimentale

Chapitre I : matériel et méthodes

1. Matériel et méthodes.....	22
1.1. Matériel végétal.....	22
1.1.1. Séchage et broyage	22
1.2. Matériel biologique microbien	23
1.2.1. Les souches bactériennes	24
2. Préparation des extraits méthanoliques et éthanoliques des plantes étudiées : <i>Teucrium polium</i> et <i>Equisetum telmateia</i>	24

Table des matières

3. Détermination de l'activité antibactérienne	26
3.1. Préparation des solutions des extraits et de l'inoculum bactérien	26
3.2. Ensemencement et dépôts des disques	26
3.3. Lecture	27
4. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI	28
5. Détermination de l'activité antioxydante ; test de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl)	28
5.1. Manipulation	29
6. Screening phytochimique	29
6.1. Test des composés phénoliques	30
6.2. Test des flavonoïdes	30
6.3. Test des saponines	30
6.4. Test des alcaloïdes	30
6.5. Test des tanins	31
6.6. Test des stéroïdes et triterpènes	31
6.7. Test des quinones libres	31
6.8. Test des coumarines : fluorescence UV	31
6.9. Test des composés réducteurs	31
6.10. Test des anthraquinones	31
6.11. Test des terpénoïdes	31
7. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux	32
7.1. Dosage des polyphénols totaux	32
7.1.1. Principe	32
7.1.2. Manipulation	32
7.2. Dosage des flavonoïdes totaux	32

Table des matières

7.2.1. Principe	32
7.2.2. Manipulation.....	33

Chapitre II : résultats et discussion

1. Résultats.....	34
1.1. Résultats de l'activité antibactérienne	34
1.1.1. Résultats de l'activité antibactérienne de <i>Teucrium polium L.</i>	35
1.1.2. Résultats de l'activité antibactérienne d' <i>Equisetum telmateia</i>	41
1.2. Résultats de la concentration minimale inhibitrice CMI.....	49
1.3. Résultats de screening phytochimique.....	54
1.4. Résultats des analyses quantitatives par dosage spectrophotométrique	56
1.4.1. Résultats de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes	56
1.5. Résultats de l'activité anti-oxydante (test de piégeage du radical libre DPPH).....	58
2. Discussion.....	59
2.1. Activité antibactérienne	59
2.2. Screening phytochimique.....	61
2.3. Dosage spectrophotométrique de flavonoïdes et polyphénols	62
2.4. Activité anti-oxydante	62
Conclusion.....	64

Références bibliographiques

LISTE DES FIGURES

Figure 1: structure chimique d'acide phénolique	7
Figure 2: Structure chimique des flavonoïdes	8
Figure 3: structure chimique des tannins	8
Figure 4: Structure chimique des coumarines.....	10
Figure 5: Aspect morphologique de <i>Teucrium polium</i> L.....	17
Figure 6: <i>Equisetum telmateia</i>	19
Figure 7: <i>Equisetum telmateia</i> ; tige fertile (Echternach) et tige stérile (Beaufort), leg. E. Aschman (herb. LUX n° 222).....	20
Figure 8: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 7 en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i>	35
Figure 9: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d' <i>Escherichia coli</i> 18 en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i>	36
Figure 10: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>S. saprophiticus</i> en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i>	37
Figure 11: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d' <i>Escherichia coli</i> ATCC 25422 en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i> ..	38
Figure 12: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213 en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i>	39
Figure 13: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603 en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i>	40
Figure 14: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>P. aeruginosa</i> ATCC 27953 en fonction des deux concentrations des deux extraits de <i>Teucrium polium</i>	41
Figure 15: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 7 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	42
Figure 16: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 18 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	43
Figure 17: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>S. saprophiticus</i> en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	44

Liste des figures

Figure 18: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d' <i>E. coli</i> ATCC 25422 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	45
Figure 19: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>S. aureus</i> ATCC 29213 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	46
Figure 20: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>K. pneumoniae</i> ATCC 700603 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	47
Figure 21: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de <i>P. aeruginosa</i> ATCC 27953 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' <i>Equisetum telmateia</i>	48
Figure 22: La concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits d' <i>E. telmateia</i> et de <i>T. polium</i> vis à-vis des souches bactériennes sensibles.....	53

Liste des photographies

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1: Le matériel végétal utilisé : <i>Teucrium polium</i> et <i>Equisetum telmateia</i> .	22
Photographie 2: Broyage et tamisage de <i>Teucrium polium</i> .	23
Photographie 3: Broyage et tamisage d' <i>Equisetum telmateia</i>	23
Photographie 4: Les étapes de préparation des extraits.....	26
Photographie 5: Ensemencement des bactéries et dépôt des disques.....	27
Photographie 6: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) et DMSO de <i>Teucrium polium</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 7.....	36
Photographie 7: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de <i>Teucrium polium</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 18.....	37
Photographie 8: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de <i>Teucrium polium</i> vis-à-vis de <i>S. saprophyticus</i>	38
Photographie 9: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de <i>Teucrium polium</i> vis-à-vis de <i>S. aureus</i> ATCC 29213.	39
Photographie 10: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de <i>Teucrium polium</i> vis-à-vis de <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603.....	40
Photographie 11: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de <i>Teucrium polium</i> vis-à-vis de <i>P. aeruginosa</i> ATCC 27953.	41
Photographie 12: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 7.....	42
Photographie 13: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> 18.	43
Photographie 14: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis de <i>S. saprophyticus</i>	44
Photographie 15: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis d' <i>E. coli</i> ATCC 25422.....	45
Photographie 16: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis de <i>S. aureus</i> ATCC 29213.	47

Liste des photographies

Photographie 17: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis de <i>K. pneumoniae</i> ATCC 700603.....	48
Photographie 18: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' <i>Equisetum telmateia</i> vis-à-vis de <i>P. aeruginosa</i> ATCC 27953.	49
Photographie 19: Résultats de la CMI de l'extrait méthanolique de <i>Teucrium polium</i>.....	50
Photographie 20: Résultats de la CMI de l'extrait éthanolique de <i>Teucrium polium</i>.	50
Photographie 21: Résultats de la CMI de l'extrait méthanolique d' <i>Equisetum telmateia</i>. ...	51
Photographie 22: Résultats de la CMI de l'extrait éthanolique d' <i>Equisetum telmateia</i>	52
Photographie 23: Résultats des tests phytochimiques de la plante <i>Teucrium polium</i>	56
Photographie 24: Résultats des tests phytochimiques de la plante <i>Equisetum telmateia</i>.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: : diamètre des zones d'inhibition en (mm) de différents extraits de plantes34

Tableau 2: Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* vis-à-vis des souches sensibles.....49

Tableau 3: : Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique de *Teucrium polium* vis-à-vis des souches sensibles.....50

Tableau 4: : Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis des souches sensibles.50

Tableau 5: : Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis des souches sensibles.51

Tableau 6: Résultats des tests phytochimiques des plantes étudiées.55

Tableau 7: : Dosage des polyphénols et des flavonoïdes des extraits d' *Equisetum telmateia* et de *Teucrium polium* L.57

Tableau 8: Les valeurs de l'IC 50 des extraits et standard58

Liste des abréviations

LISTE DES ABREVIATIONS

°C : Degré Celsius.

Abs : Absorbance.

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium.

ATCC: American type culture collection.

C : concentration.

Cm : centimètre.

CMI : concentration minimal inhibitrice.

DMSO : di-méthylsulfoxyde.

DO : Densité optique

DPPH : 2, 2'-diphényl-1-picrylhydrazyle.

E. coli : *Escherichia coli*.

E.telmateia : *Equisetum telmateia*

FeCl₃ : chlorure ferrique.

H₂SO₄ : Acide sulfurique.

H₂SO₄: Acide sulfurique.

H₃PMO₁₂O₄₀ : Acide phosphomolybdique.

H₃PW₁₂O₄₀ : Acide phosphotungstique.

HCl : Acide chlorhydrique.

I % : pourcentage d'inhibition.

IC₅₀ : Concentration inhibitrice 50.

K. pneumoniae : *Klebsiella pneumoniae*.

Liste des abréviations

LPS : lipopolysaccharide glycolipidique spécialisé.

M : mètre.

Mg : Milligramme.

MH : Muller Hinton.

Min : Minute.

ml : Millilitre.

mm : millimètre.

Na₂CO₃ : Carbonate de sodium.

NaCl : chlorure de sodium.

NaNO₂ : Nitrite de sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium.

NH₄OH : Hydroxyde d'ammonium.

nm : Nanomètre.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

P. aeruginosa : *Pseudomonas aeruginosa*.

pH : potentiel d'Hydrogène.

ROS : Espèces réactives de l'oxygène.

S. aureus : *Staphylococcus aureus*.

T. polium : *Teucrium polium*

UFC : Unité formant colonie.

UV : Ultraviolet.

V : Volume.

Liste des abréviations

mg EAG/g Es : Milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait sec.

mg EC/g Es : Milligramme d'équivalent de catéchine par gramme d'extrait sec.

µl : Microlitre.

Introduction

Introduction

Les maladies infectieuses causées par des micro-organismes représentent un enjeu majeur de santé publique, ayant un impact considérable sur la santé humaine et générant des pertes économiques importantes. L'une des principales causes de cette situation est l'augmentation alarmante de la résistance aux antibiotiques (**Eloff, 1998**). Depuis plusieurs décennies, de nombreuses familles d'antibiotiques, regroupant plusieurs centaines de molécules ont été mises au point et utilisées efficacement dans le traitement des infections. Toutefois, l'usage intensif, inapproprié et non réglementé de ces agents antimicrobiens a favorisé l'émergence et la dissémination de souches bactériennes multi-résistantes, constituant une menace mondiale pour la santé publique (**Bouras, 2018**). Face à cette problématique, la recherche scientifique s'oriente de plus en plus vers l'exploration de nouvelles alternatives thérapeutiques. Parmi celles-ci, les plantes médicinales et culinaires, riches en composés bioactifs, offrent un potentiel considérable pour le développement de phyto-médicaments à activité antibactérienne (**Bruneton, 1999 ; Teuscher et al., 2005**). L'usage des plantes en phytothérapie, pratique ancestrale, connaît aujourd'hui un regain d'intérêt croissant auprès des populations. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS, 2003**), entre 65 et 80 % de la population mondiale fait appel à la médecine traditionnelle pour couvrir ses besoins en soins de santé primaires, en particulier dans les régions défavorisées ou à accès limité à la médecine moderne (**Ma et al., 1997**). Les plantes médicinales occupent ainsi une place centrale dans la recherche pharmaceutique moderne, que ce soit comme traitements directs, comme modèles pour la synthèse de nouveaux médicaments, ou comme sources d'inspiration pour la création de molécules pharmacologiquement actives (**OMS, 1998**).

Dans ce contexte, l'Algérie se distingue par une biodiversité végétale remarquable, avec près de 4000 espèces et sous-espèces de plantes vasculaires recensées, faisant d'elle un véritable réservoir phylogénétique. Pourtant, malgré cette richesse floristique, seules 146 espèces sont actuellement reconnues pour leurs propriétés médicinales (**Hamel et al., 2021**), ce qui souligne l'intérêt d'approfondir les recherches dans ce domaine.

Le genre *Teucrium* (famille des *Lamiaceae*) comprend plus de 340 espèces réparties à travers le monde, dont une vingtaine se trouvent en abondance dans la flore algérienne. *Teucrium polium* L., est l'une des espèces de ce genre qui croît naturellement en Algérie. Cette plante est

Introduction

traditionnellement utilisée dans la médecine populaire algérienne en raison de ses propriétés hypoglycémiantes, hypolipidémiantes, anti-inflammatoires, antibactériennes et antioxydantes (**Ait Chaouche et al., 2018**).

La famille des *Equisetaceae*, représentée par les prêles, constitue l'une des dernières lignées d'un groupe de plantes très ancien. Le genre *Equisetum* comprend environ 30 espèces (**Neumann et al., 2010**). *Equisetum telmateia* est reconnue pour ses effets bénéfiques, notamment neuroprotecteurs, antimicrobiens, anti-inflammatoires, diurétiques et antiulcéreux, ainsi que pour ses puissantes propriétés antioxydantes (**Taşkın et al., 2020**).

Dans cette optique, l'objectif du présent travail se focalise sur la valorisation du potentiel thérapeutique de ces deux espèces végétales spécifiques : *Teucrium polium L.* et *Equisetum telmateia* récoltées en Algérie, en évaluant l'activité antibactérienne et antioxydante, de leurs extraits méthanoliques et éthanoliques, de quantifier par spectrophotométrie leurs teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux, et de réaliser également une analyse phytochimique des deux plantes étudiées.

Partie Bibliographique

Chapitre I :
Les plantes médicinales



1. Les plantes médicinales

1.1. Histoire des plantes médicinales

L'histoire des herbes médicinales est longue et complexe, remontant à des milliers d'années lorsque les humains utilisaient les herbes à des fins médicinales, nutritionnelles et religieuses. Les herbes médicinales sont peut-être l'une des formes de traitement les plus anciennes de l'histoire de l'humanité, et on sait que de nombreuses sociétés anciennes comptaient sur elles pour traiter les maladies et améliorer la santé.

Les Égyptiens ont été les premiers à établir des règles concernant les plantes médicinales dans leurs pharmacopées, le terme « pharmacopée » étant issu du terme égyptien « Farmak ». En Asie, l'empereur Chen-Nong de Chine fut le premier à se pencher sur l'étude de la phytothérapie et à tester certains impacts bénéfiques ou néfastes des plantes. Durant l'ère romaine, les spécialistes en botanique étaient essentiellement d'origine grecque au début, avant que les Romains ne se mettent à étudier la flore et à concevoir des remèdes à base de plantes. Les Arabes étaient aussi des experts notables en botanique, recevant de robustes principes médicaux de la tradition perse, tout en se basant principalement sur Galien pour leur enseignement (**Lazli et al., 2018**).

Avec la Renaissance, à partir du XVI^e siècle, s'ouvre une nouvelle ère marquée par de nombreux voyages en Asie et en Amérique, révélant une grande diversité de plantes et de nouvelles propriétés médicinales. Aux XIX^e et XX^e siècles, les avancées du microscope et l'émergence de disciplines telles que la biochimie, la biologie cellulaire et l'histologie transforment la recherche scientifique. Dès les années 1930, de nombreuses substances actives issues des végétaux commencent à être reproduites par synthèse. Cependant, les plantes conservent une place essentielle, fournissant des bases pour l'élaboration de nombreux médicaments. Aujourd'hui, un quart des médicaments utilisés contient des substances extraites directement des plantes, et près de la moitié repose sur des composants d'origine végétale. Après une période où les sciences et les technologies semblaient apporter toutes les solutions, le public redécouvre les bienfaits de la nature et l'importance de vivre en harmonie avec elle (**Debaisieux et Polese, 2009**).

1.2. Définition des plantes médicinales

La plante, en tant qu'organisme vivant, se distingue par ses caractéristiques morphologiques, qui servent de base à la classification botanique, ainsi que par ses particularités

biochimiques issues de voies de biosynthèse spécifiques. Ces propriétés font l'intérêt de son utilisation en médecine (**Bruneton, 1993**).

Selon la pharmacopée française, une plante médicinale est décrite comme étant une « drogue végétale au sens de la pharmacopée européenne dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses ». On entend par « drogue végétale » une plante ou une section de celle-ci, généralement employée sous sa forme séchée ou fraîche (**Sofowora, 2010**). L'expression drogue végétale ou, plus couramment, drogue, désigne donc une matière première naturelle servant à la fabrication des médicaments (**Mohammedi, 2013**).

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une plante médicinale désigne une plante ou l'une de ses parties (feuille, tige, racine, etc.) contenant des substances exploitables à des fins thérapeutiques ou qui constituent des précurseurs pour la création d'autres médicaments bénéfiques. Ses propriétés curatives sont soit prouvées scientifiquement, soit basées sur l'expérience grâce à son utilisation dans la médecine traditionnelle (**Amini, 2010**).

1.3. Les principales méthodes de préparation des plantes médicinales

Autrefois, les plantes étaient principalement utilisées à l'état naturel, sous forme de tisanes ou de poudres. Aujourd'hui, elles sont souvent proposées en gélules, mais de nombreuses autres formes d'utilisation des plantes médicinales existent (**Chabrier, 2010**).

D'après Bailiche et Bailiche (**2021**), la préparation de remèdes à partir de plantes médicinales peut différer en fonction de la tradition, de la culture et du type de traitement désiré. Voici quelques techniques fréquemment utilisées :

❖ L'infusion

On verse l'eau bouillante sur les plantes dans un récipient dont le couvercle ferme bien afin d'éviter toute perte d'essence volatile et on laisse extraire 5 à 15 minutes, puis on filtre. La dose normale de plantes est de 1 à 3 cuillerées à thé par tasse d'eau (**Schauenberg et Paris, 2013**).

❖ Une teinture

La teinture est obtenue par macération prolongée d'une plante fraîche ou séchée dans de l'alcool dilué. En général, on utilise cinq parts d'alcool à 70 % pour une part de plante,

préalablement hachée ou réduite en poudre. La macération s'effectue dans un récipient hermétique pendant 2 à 6 jours selon le cas avant de presser et filtrer le liquide (Schauenberg et Paris, 2013).

❖ Le sirop

Le sirop est obtenu en intégrant des extraits de plantes à une base sucrée, composée de 200 g de sucre dissous dans 100 g d'eau chaude (Schauenberg et Paris, 2013).

❖ La décoction

La décoction consiste à faire bouillir les plantes dans l'eau pendant 5 à 20 minutes. Si elles sont finement coupées, 5 minutes suffisent, tandis que les parties dures ou ligneuses nécessitent 20 minutes pour une extraction optimale, surtout après un trempage préalable dans l'eau froide suivi d'une montée progressive en température. Pour une tasse de tisane, faire cuire 3 cuillerées de plantes dans 2 tasses d'eau. Les décoctions ne doivent pas être conservées au-delà de 12 heures (Schauenberg et Paris, 2013).

❖ Macération

C'est l'immersion d'une plante dans de l'eau froide, du vin ou de l'alcool. Cette méthode permet d'extraire les principes solubles en un temps variable (Valnet, 1983).

❖ Cataplasme

Le cataplasme est obtenu en broyant une plante fraîche avant de l'appliquer sur la zone à traiter. Il est également possible d'utiliser des bandes ou des compresses imbibées d'une préparation à base de plantes sur la peau (Dutertre, 2011).

❖ Poudre

Les plantes traitées en poudre grâce à un broyage, soit dans un mortier, soit dans un moulin, peuvent être employées pour des soins internes ou externes (Delille, 2007).

1.4. Les principes actifs des plantes médicinales

Les principes actifs sont des substances chimiques contenues dans des plantes ou des préparations à base de plantes utilisées dans la fabrication de médicaments ; ils ont une activité thérapeutique curative ou préventive sur l'homme ou l'animal. La teneur de ces composés dans les plantes est généralement extrêmement faible, mais ce sont des ingrédients essentiels. Par conséquent, il est parfois important de réaliser une extraction pour isoler la seule partie de la plante d'intérêt (**Pelt, 1980**).

✚ Les métabolites végétaux peuvent être classés en deux catégories principales :

1.4.1. Les métabolites primaires

Les métabolites primaires sont des molécules organiques présentes dans toutes les cellules végétales, essentielles à leur survie. Ils se répartissent en quatre grandes catégories : les glucides, les lipides, les acides aminés et les acides nucléiques (**Koné, 2009**).

1.4.2. Les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des molécules présentes de manière limitée dans l'organisme végétal. Ils remplissent diverses fonctions, notamment en participant à la défense contre les agressions extérieures, bien qu'ils ne soient pas indispensables à la survie de la plante (**Koné, 2009**). Le métabolisme secondaire produit une grande diversité de composés, avec plus de 200 000 structures identifiées à ce jour (**Hartmann, 2007**).

✚ Les métabolites secondaires des plantes se regroupent classiquement en quatre grandes catégories : les composés phénoliques, les saponines, les composés azotés et les composés terpéniques.

1.4.2.1. Les polyphénols

Le terme composé phénolique désigne une large gamme de substances végétales ayant en commun un noyau aromatique portant un ou plusieurs groupes hydroxyles (**Figure1**). Les substances phénoliques ont tendance à être solubles dans l'eau, car elles sont le plus souvent associées à des sucres sous forme de glycosides et se trouvent généralement dans la vacuole cellulaire (**Harborne, 1973**).

Le terme « polyphénols » regroupe plusieurs sous-groupes de composés phénoliques synthétisés dans les plantes en réponse aux stress écologiques et physiologiques (**Khoddami et al., 2013**).

Selon Bruneton (1999), les polyphénols sont des composés contenant au moins un noyau benzénique, auquel est directement rattaché au moins un groupe hydroxyle. Ce dernier peut être libre ou impliqué dans une autre fonction chimique, comme sous forme d'éther, d'ester ou d'hétéroside.

Selon de nombreuses études scientifiques, les polyphénols sont des antioxydants dotés de multiples propriétés biologiques notamment antidiabétiques, anticancéreuses, anti-inflammatoires, cardioprotectrices, antivirales, antiasthmatiques, antiseptiques, hépatoprotectrices, antifongiques et antibactériennes (Kumar & Pandey, 2013).

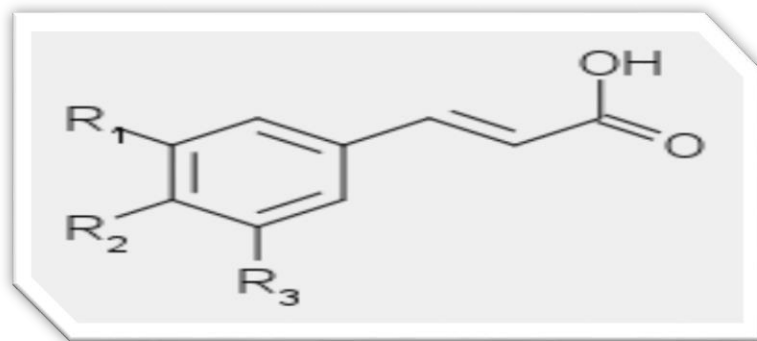


Figure 1: structure chimique d'acide phénolique (Wang, 2002)

1.4.2.2. Les flavonoïdes

Présentes dans la plupart des plantes, les flavonoïdes sont des pigments polyphénoliques qui sont responsable dans la plupart des colorations des fleurs et des fruits (Figure 2). Ils possèdent de nombreuses vertus thérapeutiques. Ils sont particulièrement actifs dans le maintien d'une bonne circulation. Certains ont aussi des propriétés anti-inflammatoires et anti virales, d'autres ont des effets protecteurs sur le foie. Des flavonoïdes comme l'héspéridine et la rutine, présentes dans plusieurs plantes, dont le Sarrasin et le Citronnier, renforcent les parois capillaires et préviennent l'infiltration dans les tissus voisins.

Les relations structures activités anti-oxydantes des flavonoïdes et des composés phénoliques ont montré que l'activité anti-oxydante était déterminée par la position et le degré d'hydroxylation (Igor, 2002).

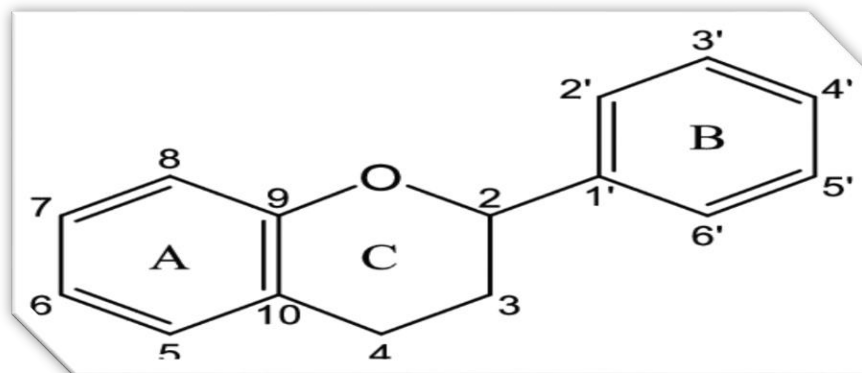


Figure 2: Structure chimique des flavonoïdes (Bruneton, 1999)

1.4.2.3. Les tanins

Les tanins sont un ensemble de composés polyphénoliques hydrosolubles présentant divers degrés de polymérisation. Bien que leur composition chimique varie, ils partagent une caractéristique commune : leur capacité à se complexer avec les protéines (notamment les albumines), les polysaccharides (cellulose, hémicellulose, pectine), les acides nucléiques, les métaux lourds et les alcaloïdes (Figure 3). On distingue quatre principaux types de tanins : les gallotannins, les ellagitannins, les tanins complexes et les tanins condensés (Bruneton, 1999 ; Kashani et al., 2012).

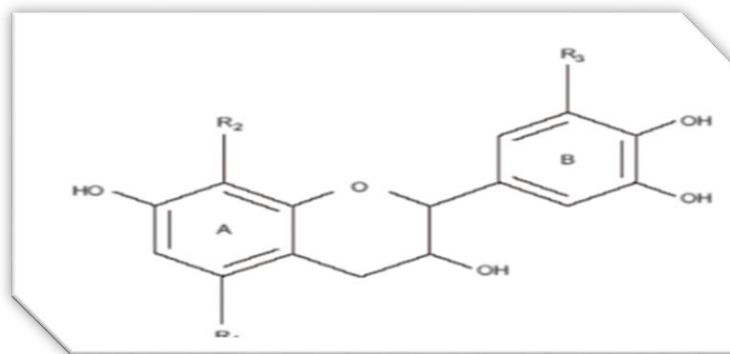


Figure 3: structure chimique des tannins (Wang, 2002)

1.4.2.4. Les saponines

Les saponines sont des métabolites secondaires caractérisés par leur capacité à produire de la mousse. Elles sont largement présentes chez les plantes angiospermes, la petite faune aquatique et certains micro-organismes. D'un point de vue chimique, elles sont des substances amphiphiles composées d'une fraction glucidique liée à une entité apolaire, qui peut être un stérol ou un triterpène.

Considérées comme des facteurs antinutritionnels, les aliments contenant des saponines subissent divers procédés de transformation afin d'en réduire la teneur. Cependant, ces composés jouent également un rôle important en tant qu'agents thérapeutiques naturels, grâce à leurs multiples bienfaits pour la santé, notamment en médecine traditionnelle (**Bachir, 2022**).

1.4.2.5. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés organiques d'origine naturelle, principalement issus des plantes. Ils se caractérisent par leur teneur en azote, leur nature basique et leurs puissantes propriétés pharmacologiques à faible dose. Cependant, la majorité des alcaloïdes présentent une forte toxicité (**Kashani et al., 2012**).

1.4.2.6. Quinones

Les quinones forment une famille de composés, qu'ils soient d'origine naturelle ou synthétique, caractérisés par une structure de dione insaturée cyclique entièrement conjuguée. Elles ont fait l'objet de nombreuses études en raison de leurs activités biologiques, notamment pour leur potentiel en tant qu'agents chimiothérapeutiques (**Cores et al., 2023**).

1.4.2.7. Les coumarines

Les coumarines, dérivées des 1,2-benzopyrones, sont présentes dans les plantes supérieures où elles résultent du métabolisme des phénylpropanoïdes et subissent diverses modifications (**Figure 4**). Elles continuent d'attirer l'attention en raison de leurs nombreuses activités biologiques, et certaines d'entre elles sont utilisées en thérapie humaine (**Bourgaud et al., 2006**).

Elles sont capables de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et de neutraliser les radicaux hydroxyles, superoxydes et peroxydes (**Andersson et al., 1996**).

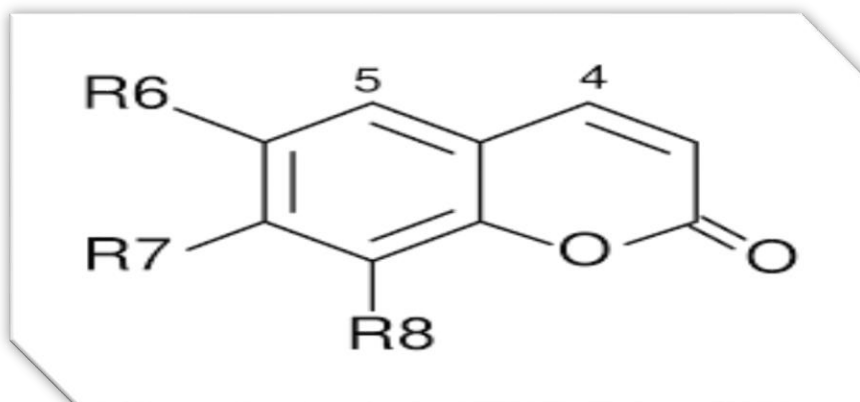


Figure 4: Structure chimique des coumarines (Wang, 2002).

1.4.2.8. Les stéroïdes et triterpènes

Les triterpénoïdes et les stéroïdes sont des composés polycycliques dérivés du squalène, un hydrocarbure linéaire largement répandu dans le règne végétal, notamment chez les angiospermes et leurs fruits. Ils jouent un rôle essentiel dans la qualité des fruits, en contribuant à leur résistance mécanique et en exerçant des activités biologiques contre divers agents pathogènes (**Dashbaldan et al., 2021**).

Les triterpènes forment une classe diversifiée de composés, comptant plus de 30 000 représentants, identifiés aussi bien chez les organismes procaryotes qu'eucaryotes, en particulier chez les végétaux. Les termes « triterpènes » et « triterpénoïdes » désignent la même catégorie de dérivés de l'isoprène à 30 atomes de carbone. Cependant, « triterpènes » fait généralement référence aux composés naturels isolés des plantes, tandis que « triterpénoïdes » désigne ceux issus de la dégradation naturelle des triterpènes ou de modifications structurales semi-synthétiques (**Prodea et al., 2022**).

Les stéroïdes globaux sont caractérisés par un noyau cyclopentaphénanthrène 17-H, partiellement ou totalement hydrogéné. Ils possèdent une activité pharmacologique marquée, même à très faible concentration. Dans leur structure, les groupes méthyles sont généralement situés en C-10 et C-13, tandis qu'une chaîne alkyle est fixée en C-17. Lorsqu'un groupe hydroxyle est présent en position C-3, ces composés sont appelés stérols, dont l'activité diffère légèrement de

celle des stéroïdes. Ces substances, incluant les stéroïdes et les stérols, remplissent diverses fonctions biologiques et sont couramment utilisées en médecine, notamment dans les glycosides cardiaques, les contraceptifs oraux, les thérapies hormonales substitutives et les traitements anti-inflammatoires de certaines affections cancéreuses (**Patadiya, 2020**).

1.5. Domaines d'applications des plantes médicinales

Les plantes médicinales ont de nombreuses applications grâce à leurs propriétés thérapeutiques. Voici les principaux domaines d'application :

- **En Médecine** : le secteur pharmaceutique repose toujours largement sur les médicaments d'origine végétale, et la recherche continue de révéler de nouvelles molécules actives ainsi que des matières premières destinées à la semi-synthèse issues du règne végétal (**Bahorun, 1997**).
- **En alimentation** : assaisonnement des boissons, des colorants et des composés aromatiques (**Delaveau, 1987**).
- **En agriculture** : dans le domaine de l'agriculture, les huiles extraites de certains arbres, comme l'*Azadirachta indica*, originaire principalement du sous-continent indien et pouvant atteindre une hauteur de 12 à 18 mètres, sont utilisées pour combattre divers insectes et nématodes (**Amjad, 2005**).
- **En cosmétiques** : les produits cosmétiques, tels que les crèmes, les aérosols et les lotions désodorisantes, sont le fruit d'un savoir traditionnel en phytothérapie enrichi par des avancées scientifiques modernes. Généralement appliqués sur la peau, ils tirent parti des bienfaits des extraits végétaux. L'utilisation de pommades et de gels à base de plantes contribue à la préservation de ces cosmétiques grâce à leurs propriétés antiseptiques et anti-oxydantes, tout en leur conférant une fragrance naturelle et agréable (**Lahmadi et al., 2013**).

1.6. Les activités biologiques des plantes médicinales

1.6.1. L'activité anti-oxydante

En conditions physiologiques, l'oxygène moléculaire est un élément essentiel à la survie des organismes aérobies. Toutefois, il peut donner naissance à des dérivés partiellement réduits, hautement réactifs et toxiques, appelés radicaux libres. Ces derniers incluent les espèces oxygénées réactives (EOR ou ROS, pour *Reactive Oxygen Species*) ainsi que les espèces réactives de l'azote (ERN) (Halliwell, 1994).

Un radical libre est une entité chimique, qu'il s'agisse d'une molécule ou d'un atome, caractérisée par une grande réactivité en raison de la présence d'un ou plusieurs électrons non appariés (Merouane et al., 2014).

Un antioxydant se définit comme toute substance capable, même à faible concentration, de rivaliser avec d'autres substrats oxydables, retardant ainsi ou inhibant leur oxydation (Droge, 2002).

Les antioxydants sont des agents protecteurs ou terminaux capables de neutraliser ou de capturer les radicaux libres. Leur action préventive empêche le déclenchement de l'oxydation en formant des complexes avec les catalyseurs ou en interagissant avec l'oxygène (Marc et al., 2004).

Les antioxydants présents dans diverses plantes sont reconnus pour leur capacité à ralentir les processus liés au stress oxydatif. Ces composés offrent des bienfaits pour la santé humaine, notamment en contribuant à la prévention de maladies dégénératives comme le cancer et les affections cardiovasculaires (Kromhout, 2001).

1.6.2. L'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne se réfère à l'action d'une molécule présente dans une plante à une concentration minimale, qui inhibe ou éradique entièrement la croissance bactérienne. La sensibilité d'une bactérie à un agent antibactérien dépend de la nature de cet agent (Nicola et Daniel, 1998).

Un agent antimicrobien est une substance qui peut éliminer ou inhiber la croissance des micro-organismes, en particulier les bactéries. Son action peut être bactériostatique, en freinant leur multiplication, ou bactéricide, en les éliminant totalement. Les recherches actuelles s'orientent vers les molécules antimicrobiennes d'origine naturelle, notamment celles extraites des plantes, en raison de leur disponibilité et de leur utilisation en médecine traditionnelle (Yano et al., 2006).

Les extraits de plantes exercent leur action sur différentes souches bactériennes, qu'elles soient pathogènes ou non. Leur effet se manifeste en trois étapes : une altération de la paroi bactérienne entraînant une perte des composants cellulaires, une acidification intracellulaire inhibant la production d'énergie et la synthèse des structures cellulaires, et enfin, une destruction du matériel génétique menant à l'élimination de la bactérie (**Dorman, 2000**).

L'activité antibactérienne se manifeste sous deux formes distinctes :

- **Effet bactéricide** : capacité à éliminer les bactéries dans des conditions spécifiques.
- **Effet bactériostatique** : inhibition temporaire de la multiplication bactérienne (**Hammer, 1999**).

1.6.3. L'activité anticancéreuse

Le cancer se manifeste généralement sous la forme d'une tumeur résultant de l'accumulation progressive de cellules anormales. Ce processus, appelé cancérogenèse, est complexe et se déroule en plusieurs étapes sur plusieurs années, conduisant une cellule saine à un état précancéreux, puis à un cancer à un stade précoce (**Pincemail et al., 1999**).

Depuis les années 1970, de nombreuses études en recherche fondamentale, clinique et épidémiologique se sont efforcées d'analyser et de préciser l'impact de certains facteurs nutritionnels sur le risque de développer un cancer, qu'ils soient protecteurs ou aggravants. L'analyse collective de ces travaux a permis d'établir des liens entre alimentation et cancer avec des niveaux de certitude variables, aboutissant à la publication de plusieurs rapports d'expertise et ouvrages de référence entre 1996 et 2002 (**Riboli et al., 1996**).

Plus récemment, des études expérimentales ont mis en avant le rôle potentiel des flavonoïdes dans la prévention de certains cancers, suggérant qu'ils pourraient en retarder, voire en empêcher l'apparition, tout en réduisant de manière ciblée le risque chez l'être humain (**Decloitre, 1993 ; Hertog, 1996**).

1.6.4. L'activité anti-inflammatoire

Les plantes médicinales sont des substances d'origine végétale employées depuis des siècles dans la médecine traditionnelle pour soulager les affections inflammatoires, la fièvre, la douleur et

d'autres maladies. Au moins une partie de ces plantes possède des propriétés thérapeutiques (**Pasdeloup Grenez, 2019 ; Ghauri et al., 2021**). L'inflammation, ou réponse inflammatoire, est une réaction des tissus à une blessure, visant à acheminer les molécules sériques et les cellules du système immunitaire vers la zone lésée (**Male, 2005**).

Les plantes offrent un fort potentiel pour le développement de nouveaux médicaments et jouent un rôle essentiel en médecine traditionnelle dans le traitement des maladies chroniques et même infectieuses (**Verma, 2016**). Certaines plantes médicinales possèdent des effets anti-inflammatoires bénéfiques avec peu ou aucun effet secondaire (**Oguntibeju, 2018**).

Chapitre II :
Description des plantes
étudiées



2. Les plantes étudiées

2.1. Présentation de *Teucrium polium* L.

2.1.1. Généralités

Le nom scientifique du genre *Teucrium* tire son origine du grec Teucros, en référence à un prince troyen qui aurait découvert les propriétés médicinales de cette plante. Quant au nom français « germandrée », il résulte d'une altération du latin médiéval calamendria, probablement issu d'un mélange entre alamentum, désignant une variété de menthe, et camedria, une latinisation du grec chamaedrys, qui signifie littéralement « chêne à terre » – une référence à la germandrée, souvent comparée à un petit chêne (Couplan, 2012).

En Algérie, on recense pas moins de douze sous-espèces de *Teucrium polium* L., dont la sous-espèce *polium* est la plus courante. Il convient de noter qu'à l'ouest du pays, les fleurs de la sous-espèce *polium* se distinguent par une variabilité chromatique qui semble liée à leur fréquence de présence. Ainsi, on rencontre fréquemment des spécimens aux fleurs mauves, tandis que les spécimens aux fleurs blanches sont beaucoup plus localisés (Quézel et Santa, 1963).

2.1.2. Nomenclature (Bonnier, 1990)

- **Français** : Germandrée tomenteuse
- **Anglais** : mountain germander
- **Arabe** : Chendgoura, Jaada khayata, Katabet ledjrah
- **Tamazight** : Tayrart .
- **Italien** : Camedrio polio, Canitola, Polio .
- **Espagnol** : Poleo montano, Timo mascle, Tomillo terrero, Zamarilla
- **Nom latin** : *Teucrium polium* L,
- **synonymes** : *Teucrium tomentosum*, *Teucrium gnaphalodes*, *Teucrium chamaedrys* et *Teucrium capitatum*

2.1.3. Classification botanique

Selon Quézel et Santa (1963), *Teucrium polium* est classée comme suit :

- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Spermaphyte
- **Sous-embranchement**: Angiospermes
- **Classe**: Dicotylédones / Magnoliopsida

- **Sous-classe:** Asteridae / Métachlamydées gamopétales)
- **Ordre:** Tubiflorales /Lamiales
- **Famille:** Labiées / Lamiaceae
- **Genre:** *Teucrium*
- **Espèce:** *Teucrium polium*

2.1.4. Description botanique

Teucrium polium est une plante vivace mesurant entre 10 et 35 cm (**Diridi, 2018**). Elle dégage une odeur forte et désagréable. Ses tiges, nombreuses et ligneuses à la base, sont grêles, dressées ou ascendantes, et plus ou moins ramifiées. Elles présentent une teinte blanchâtre due à une tomente dense (**Fettah, 2019**). Les feuilles, opposées et sessiles (**Krache, 2015**), sont blanches-cotonneuses sur leurs deux faces. Elles sont étroites ou ovales-allongées, crénelées dans leur partie supérieure et enroulées vers le bas au niveau des bords (**Diridi, 2018**). Les feuilles supérieures sont plus éloignées des fleurs regroupées en capitules latéraux (**Tela Botanica**). Les fleurs, de couleur blanche ou jaunâtre (**Bendif, 2017**), forment des inflorescences compactes, globuleuses ou ovoïdes, serrées et agglomérées sous forme de panicules (**Christodoulakis et al., 2010 ; Krache, 2015 ; Fettah, 2019 ; Chabane, 2021**). Le calice, couvert de poils courts et cotonneux, présente cinq dents inégales, dont la supérieure est plus grande et obtuse, tandis que les inférieures sont aiguës. Ces dents représentent environ un tiers de la longueur du calice (**Dridi, 2018**), qui est en forme de cloche et de couleur vert grisâtre (**Abbas, 2019 ; Chabane, 2021**) (**Figure 5**).

La corolle, dont le tube ne dépasse pas le calice, est velue à l'extérieur et présente des lobes latéraux linéaires avec un lobe médian ovoïde (**Fettah, 2019**). Les inflorescences en têtes compactes ou capituliformes sont situées à l'extrémité des tiges (**Quézel et Santa, 1963; Bendif, 2017**).

Les étamines se tordent en spirale après l'anthèse et sont insérées sur le tube de la corolle (**Chabane, 2021**). Cependant, elles ne s'enroulent pas sur elles-mêmes après la floraison à le fruit à maturité, se divise en quatre parties brunâtres avec une surface finement réticulée (**Diridi, 2018**).



Partie végétative



Fleurs et feuilles

Figure 5: Aspect morphologique de *Teucrium polium L* (Boulard, 2003).

2.1.5. Origine et distribution

Le genre *Teucrium* regroupe plus de 300 espèces aromatiques qui poussent naturellement dans diverses régions du monde. Il est particulièrement répandu dans le bassin méditerranéen, notamment en Algérie, où l'on recense 21 espèces. Parmi elles, *Teucrium polium L.* est une plante à fleurs largement présente en Europe, en Afrique du Nord et au nord-ouest de l'Asie (Andary, 1988). Cette espèce se développe principalement dans des zones au climat aride et semi-aride, privilégiant les sols bien drainés et ensoleillés. On la retrouve fréquemment sur les coteaux, les terrains sableux et les régions arides (Esmail, 2010).

2.1.6. Composition chimique

Les extraits de *Teucrium polium* sont particulièrement riches en polyphénols, flavonoïdes, iridoïdes et stérols (Djabou et al., 2012 ; Movahedi et al., 2014). Les huiles essentielles de cette plante renferment majoritairement des monoterpènes, des diterpènes, ainsi que des sesquiterpènes sous forme hydrocarbonée ou oxygénée (Kabouche et al., 2007 ; Krache et al., 2017). Des analyses préliminaires menées sur les feuilles et les fleurs ont mis en évidence la présence de composés polyphénoliques, notamment des flavonoïdes et des tanins, en plus d'autres substances

comme les saponines et les stéroïdes. Parmi les constituants dominants des huiles essentielles de *Teucrium polium* L., on retrouve principalement le carvacrol et le caryophyllène (Malki et Yahia, 2014).

2.1.7. Utilisation traditionnelle et médicinale

Les espèces de *Teucrium polium* sont utilisées en phytothérapie depuis plus de 2000 ans pour leurs propriétés diurétiques, inotropes et chronotropes (Niazmand et al., 2008). Elles sont également reconnues pour leurs effets toniques, antipyrétiques, antiulcéreux (Khleifat et al., 2001), antibactériens, anti-inflammatoires et anticonvulsivants (Khoshnood-Mansoorkhani et al., 2010).

En médecine traditionnelle, la germandrée est prisée pour ses vertus analgésiques, antispasmodiques et hypolipémiantes. Elle est utilisée dans le traitement de divers troubles cliniques, notamment la fièvre, les affections hépatiques, la cicatrisation des plaies, la réduction de la pression artérielle et les troubles digestifs comme les douleurs stomacales, la colite et la diarrhée (Dehghani et al., 2005 ; Kaileh et al., 2007). Ces propriétés confirment son usage répandu dans la médecine populaire pour soulager ces maux (Krishnaiah et al., 2011). De plus, cette plante est largement reconnue pour ses effets antidiabétiques, sa décoction étant réputée pour son action hypoglycémiant (Gharaibeh et al., 1989; Sabet et al., 2013).

2.2. Présentation d'*Equisetum telmateia*

2.2.1. Généralités

Le genre *Equisetum* constitue 30 espèces. *Equisetum telmateia* également connue sous les noms de Prêle géante ou Grande Prêle est une plante herbacée vivace (Huh et Han, 2015).

Selon la classification actuelle du Pteridophyte Phylogeny Group (PPG I 2016). Les prêles sont classées parmi les fougères au sens large (Polypodiopsida). À l'échelle mondiale, elles sont regroupées au sein d'une seule famille, les *Equisetaceae* qui ne compte qu'un unique genre : *Equisetum* L (Figure 6).



Figure 6: *Equisetum telmateia* (Gudzinskas & Rasimavičius, 2017)

2.2.2. Nomenclature

Les espèces du genre *Equisetum* sont communément appelées « queue de cheval » dans plusieurs régions du monde: *horsetail* dans les pays anglophones, *cola de caballo* dans les pays hispanophones, *prêle des champs* en France, *Ackerschachtelhalm* en Allemagne, *tsukushi* au Japonk.

Le nom scientifique provient du latin, combinant « **equi** » (cheval) et « **setum** » (queue), ce qui signifie littéralement « **queue de cheval** » (Bown, 1995 ; Mors et al., 2000).

2.2.3. Classification botanique

La plante *Equisetum telmateia* est classée comme suit :

- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Equisetophyta
- **Classe** : Equisetopsida
- **Ordre** : Equisetales
- **Famille** : Equisetaceae
- **Genre** : Equisetum
- **Espèce** : *Equisetum telmateia* (Boeing et al., 2021).

2.2.4. Description botanique

Equisetum telmateia est une plante vivace herbacée, caractérisée par des tiges vertes stériles, photosynthétiques, et des tiges fertiles non photosynthétiques, de couleur brun pâle ou jaunâtre qui portent des spores (**Figure 7**). Les tiges stériles mesurent entre 0,30 et 1,50 m de hauteur, et peuvent atteindre jusqu'à 2,00 m, avec un diamètre d'environ 1 cm. Elles apparaissent à la fin du printemps et se fanent à la fin de l'automne. Ces tiges sont ramifiées, avec des verticilles de 14 à 40 branches, qui peuvent atteindre 20-30 cm de long et 1 à 2 mm de diamètre. Les tiges fertiles se développent au début du printemps (fin avril ou début mai), avant les tiges stériles. Elles mesurent entre 10 et 25 cm de hauteur, avec un strobile apical portant des spores, de 4 à 10 cm de long et de 1 à 2 cm de large. Ces tiges fertiles meurent généralement après la libération des spores, vers la mi-mai. La plante se propage par les spores. Ses rhizomes pénètrent profondément dans le sol humide, jusqu'à 4 m, et se propagent latéralement en plusieurs couches (**Dostál, 1984; Hauke, 1993; Husby, 2013**).



Figure 7: *Equisetum telmateia* ; tige fertile (Echternach) et tige stérile (Beaufort), leg. E. Aschman (herb. LUX n° 222) (Krippel, 2023).

2.2.5. Origine et distribution

E. telmateia est une espèce mésohygrophile qui pousse dans des stations plus ou moins ombragées, sur des sols riches en bases, avec un pH allant de basique à neutre. On peut observer de belles populations dans les zones calcaires, souvent sur des affleurements marneux suintants, comme dans certaines parties de la région du grès de Luxembourg et en Moselle, où la prêle est associée à des formations de tuf calcaire. Des populations remarquables, telles que celles situées entre Echternach et Berdorf ou dans la vallée de l'Alzette, ont déjà été signalées par **Koltz (1883)**. Ce dernier, ainsi que **Klein (1897)**, notent que la grande prêle est absente dans la région des Ardennes (**Krippel, 2023**).

Equisetum telmateia Ehrh est largement distribué en Europe, en Asie occidentale, en Afrique du Nord-Ouest et en Amérique du Nord (**Yeganegi et al., 2018**)

2.2.6. Composition chimique

E. telmateia contient une variété de composés phénoliques tels que des flavonoïdes ainsi que des dérivés d'acide phénolique y compris les acides protocatéchique et p-hydroxybenzoïque et divers dérivés de l'acide caféique (**Yeganegi et al., 2018**).

2.2.7. Utilisation traditionnelle et médicinale

En médecine traditionnelle, *E. telmateia* est utilisée pour traiter diverses affections du système urinaire, notamment la pyélonéphrite, l'hypertrophie de la prostate et la cystite. Elle est également employée pour lutter contre les calculs rénaux et le sable rénal.

En Anatolie, les parties aériennes de *E. telmateia* sont utilisées pour soulager les douleurs gastriques et abdominales, ainsi que pour traiter les ulcères gastroduodénaux, l'eczéma, l'acné et le rhumatisme (**Gholizadeh Nasari et al., 2009 ; Radojevic et al., 2012**).

Cette espèce contient des flavonoïdes et des acides phénoliques, qui contribuent à ses multiples propriétés thérapeutiques, notamment ses effets neuroprotecteurs, antimicrobiens, anti-inflammatoires, diurétiques, antiulcéreux et antioxydants. Les composés phénoliques sont reconnus pour leur rôle clé dans ces bienfaits biologiques (**Yeganegi et al., 2018**).

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes



1. Matériel et méthodes

Notre travail a porté sur l'étude phytochimique, l'activité antibactérienne et l'activité anti-oxydante des extraits (éthanolique et méthanolique) de la partie aérienne (feuilles sans fleurs) de deux plantes : *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia*. Cette étude a été réalisée au niveau des laboratoires pédagogiques de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie - Université Abbès Laghrour - Khenchela.

1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de la partie aérienne (feuilles sans fleurs) de deux plantes : *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia* (**Photographie 1**). Le matériel végétal sélectionné (*Teucrium polium*) a été collecté en Janvier 2025 de la région de Taouzianet Wilaya de Khenchela. L'échantillon d'*Equisetum telmateia* a été acquis auprès d'une herboristerie spécialisée dans la vente de plantes médicinales, localisée dans la wilaya de Khenchela. Elles ont été authentifiées par Pr. Hamel Tarek, département de biologie, Université Badji-Mokhtar –Annaba.



Teucrium polium



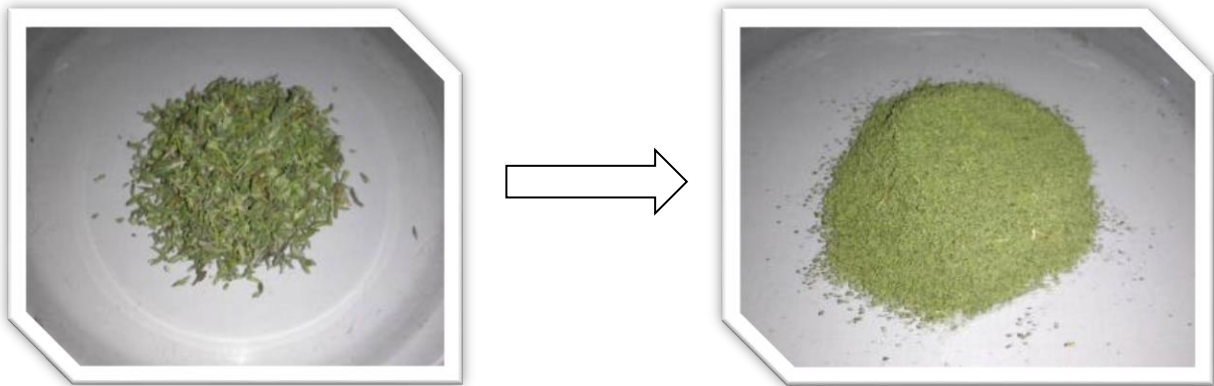
Equisetum telmateia

Photographie 1: Le matériel végétal utilisé : *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia* .

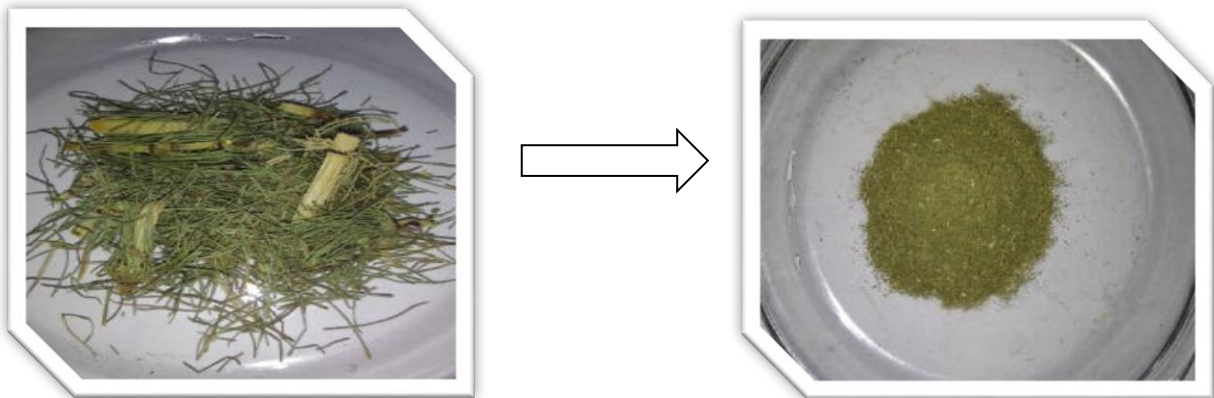
1.1.1. Séchage et broyage

Après la collecte du matériel végétal, les échantillons ont été soigneusement lavés afin d'éliminer les particules exogènes telles que la poussière et autres impuretés. Le séchage a été effectué à température ambiante à l'abri de la lumière solaire directe pendant plusieurs jours afin de préserver les composés thermo- et photosensibles. Une fois un taux d'humidité résiduel adéquat atteint, les plantes ont été broyées à l'aide d'un moulin électrique jusqu'à obtention d'une poudre

homogène (**Photographies 2 et 3**). Celle-ci a ensuite été tamisée à travers un tamis de maille fine afin d'assurer une granulométrie uniforme. Les poudres ainsi obtenues ont été conservées dans des récipients en verre hermétiquement scellés, stockés à température ambiante dans un environnement sec et sombre, à l'abri de l'humidité et de la lumière, jusqu'à leur utilisation pour les analyses en laboratoire.



Photographie 2: Broyage et tamisage de *Teucrium polium*.



Photographie 3: Broyage et tamisage d'*Equisetum telmateia*

1.2. Matériel biologique microbien

1.2.1. Les souches bactériennes

L'activité antibactérienne a été évaluée sur un ensemble de sept souches bactériennes incluant quatre souches de référence de la collection ATCC et trois souches cliniques isolées à partir des échantillons d'origine humaine.

Les souches bactériennes de la collection ATCC étudiées et leurs références :

- **La souche bactérienne à Gram (+) étudiée et sa référence :** *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213).
- **Les souches bactériennes à Gram (-) étudiées et leurs références :** *Escherichia coli* (ATCC 25422), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603) et *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27953).

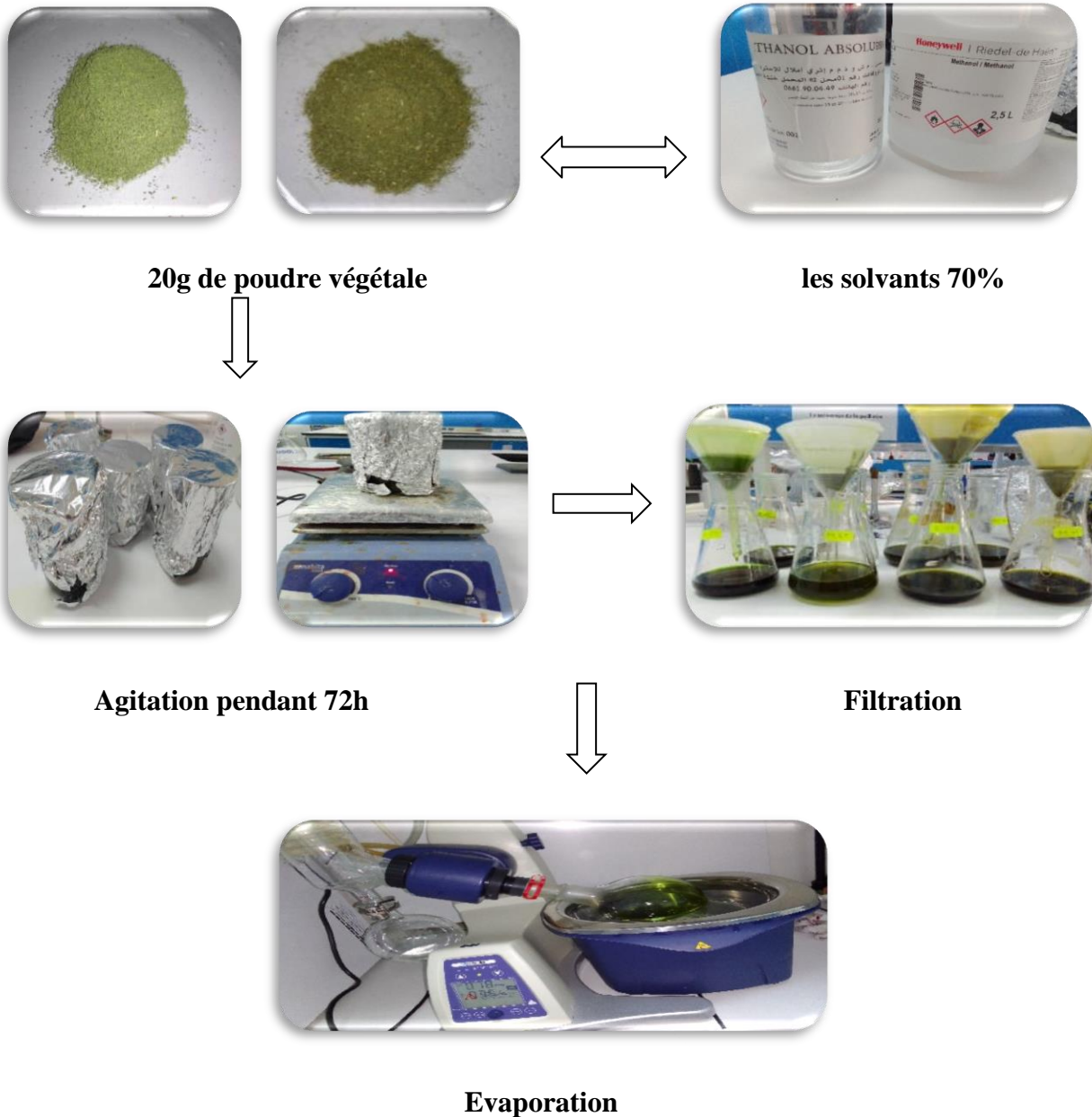
Les souches cliniques exploitées dans cette étude ont été isolées à partir de prélèvements pathologiques humains. Il s'agit des souches suivantes :

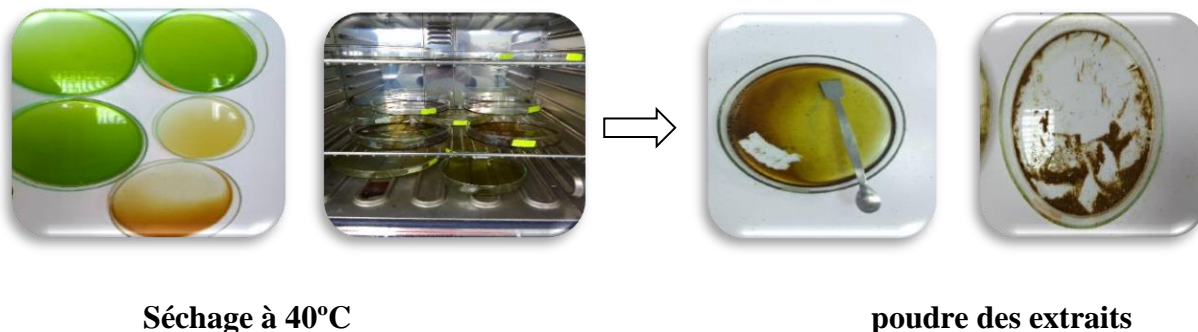
- ❖ *Escherichia coli* 7, *Escherichia coli* 18 et *Staphylococcus saprophyticus*

2. Préparation des extraits méthanoliques et éthanoliques des plantes étudiées : *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia*.

Les extraits végétaux ont été obtenus à partir des poudres sèches de *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia* en utilisant deux solvants organiques polaires, le méthanol et l'éthanol, selon la méthode décrite par **Hanoun et al. (2025)**. Pour chaque extraction, 20 g de poudre végétale ont été soumis à une macération dans 200 mL d'un mélange hydro-organique composé de 70 % de solvant (méthanol ou éthanol), et de 30 % d'eau distillée. Les mélanges ont été transférés dans des béchers en verre, protégés de la lumière à l'aide de papier aluminium, puis placés sous agitation continue à température ambiante pendant 72 heures à l'aide d'un agitateur orbital. À la fin de la période de macération, les extraits ont été successivement filtrés à l'aide d'une étamine pour éliminer les particules grossières, puis à travers un papier filtre Whatman N°1 afin d'obtenir des solutions limpides. Les filtrats ont ensuite été concentrés sous pression réduite à 40 °C à l'aide d'un évaporateur rotatif, dans le but d'éliminer les solvants volatils. Par la suite, les extraits concentrés ont été transférés dans des boîtes de Pétri en verre étiquetées, puis soumis à un séchage

complémentaire dans une étuve ventilée à 40 °C pendant 72 à 96 heures, afin d'éliminer les traces résiduelles de solvant et de l'eau. Les extraits secs obtenus ont été soigneusement raclés à l'aide d'une spatule stérile, puis stockés dans des flacons en verre stérilisés, hermétiquement fermés, et conservés à 4 °C jusqu'à leur utilisation pour les analyses expérimentales (**Photographie 4**).





Séchage à 40°C

poudre des extraits

Photographie 4: Les étapes de préparation des extraits.

3. Détermination de l'activité antibactérienne

Dans cette étude, nous avons évalué l'activité antibactérienne des plantes médicinales *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia*, reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques. Pour ce faire, nous avons eu recours à la méthode de diffusion en milieu solide sur boîtes de Pétri, décrite par **Mouas et al. (2017)**.

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

- ❖ Les extraits végétaux ont été préparés à des concentrations de 200 mg/ml et 100 mg/ml, en les dissolvant dans du diméthylsulfoxyde (DMSO). Les solutions ont été soumises à une agitation vigoureuse à l'aide d'un vortex jusqu'à dissolution complète des composés actifs.
- ❖ Les souches bactériennes ont été cultivées par ensemencement en stries sur gélose nutritive inclinée dans des tubes à essai, suivie d'une incubation à 37 °C pendant 24 heures dans le but d'obtenir des colonies jeunes, isolées et bien développées. Une colonie unique a ensuite été prélevée à l'aide d'une anse de platine stérile et remise en suspension dans 9 ml de solution physiologique stérile. La densité optique de la suspension obtenue a été ajustée à 0,5 selon l'échelle de McFarland correspondant à une concentration d'environ $1,5 \times 10^8$ UFC/ml.

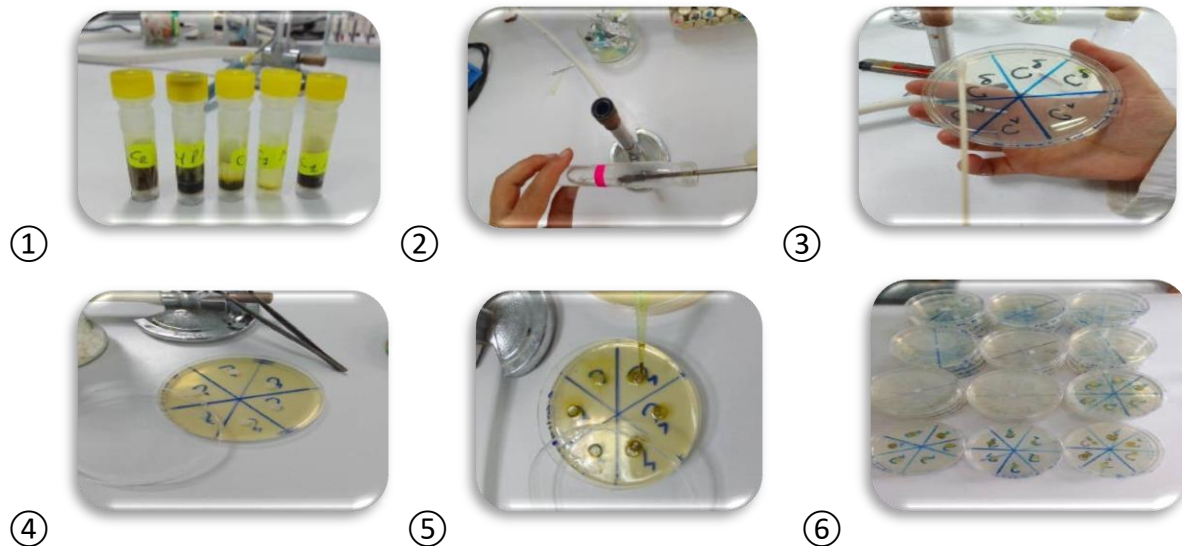
3.2. Ensemencement et dépôts des disques

L'ensemencement a été réalisé par écouvillonnage sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose Mueller Hinton. Pour ce faire, un écouvillon stérile a été trempé dans la suspension bactérienne, puis égoutté en le pressant fermement contre la paroi interne du tube. L'écouvillon a ensuite été appliqué sur l'ensemble de la surface gélosée par stries serrées, allant du haut vers le

bas. Cette opération a été répétée trois fois en faisant pivoter la boîte de 60° à chaque passage, afin d'assurer une répartition homogène de l'inoculum. Un dernier passage de l'écouvillon sur toute la surface a finalisé l'ensemencement.

Des disques stériles de 6 mm de diamètre, imprégnés de 20 µl de différentes concentrations des extraits végétaux, ont été déposés délicatement sur la surface de la gélose à l'aide d'une pince stérile (**Photographie 5**). Un disque contenant 20 µl de DMSO a été utilisé comme témoin négatif.

Les boîtes ont ensuite été refermées et laissées à température ambiante pendant 30 minutes pour permettre la diffusion des extraits, avant d'être incubées à 37 °C pendant 24 heures.



Photographie 5: Ensemencement des bactéries et dépôt des disques.

3.3.Lecture

Après l'incubation, l'effet des extraits se manifeste par la formation d'une zone d'inhibition circulaire et claire autour du disque, indiquant l'absence de croissance bactérienne. L'interprétation de cette zone d'inhibition observée chez les souches en présence de l'extrait, se fait selon les critères établis par **Celikel et Kavas (2008)**.

- **Résistante** : diamètre inférieur à 8 mm.

- **Sensible** : diamètre compris entre 9 et 14 mm.
- **Très sensible** : diamètre compris entre 15 et 19 mm.
- **Extrêmement sensible** : diamètre supérieur à 20 mm.

4. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est définie comme la plus faible concentration d'un agent antimicrobien inhibant toute croissance visible du micro-organisme testé, après une incubation de 18 à 24 heures. Sa détermination repose sur l'évaluation visuelle de la turbidité des milieux de culture : l'absence de trouble indique une inhibition complète de la croissance. La CMI correspond donc à la concentration la plus basse pour laquelle aucun signe de croissance microbienne n'est détectable à l'œil nu (Toty *et al.*, 2013).

La concentration minimale inhibitrice (CMI) de chaque extrait a été déterminée selon la méthode de dilution en milieu liquide, conformément aux protocoles standards en microbiologie. Une série de concentrations décroissantes (50, 25, 12,5, 6,25, 3,125, 1,562, 0,781 et 0,390 mg/mL) a été préparée par dilutions successives des extraits méthanoliques et éthanoliques.

Pour chaque concentration, un volume de 5 mL de bouillon nutritif stérile a été distribué dans une série de huit tubes à essai. À chacun de ces tubes, 0,1 mL de l'extrait dilué a été ajouté, suivi par l'inoculation de 0,1 mL d'une suspension bactérienne normalisée à 0,5 selon l'échelle de McFarland, correspondant à une densité cellulaire approximative de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL.

Les tubes ont été ensuite incubés à 37 °C pendant 24 heures dans des conditions aérobies

5. Détermination de l'activité antioxydante ; test de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl)

Le test de l'activité antioxydante a été effectué en utilisant la méthode au DPPH, selon la procédure décrite par Aouachria *et al.* (2017). Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre stable, de couleur violette, dont l'absorbance est mesurée à 515 nm. Lorsqu'une substance antioxydante est présente, elle peut transférer un électron ou un atome d'hydrogène au DPPH, provoquant ainsi sa réduction. Cette réaction entraîne un changement de couleur, passant du violet au jaune pâle, accompagné d'une diminution de l'absorbance. Cette baisse d'absorbance permet de quantifier le pourcentage de réduction du DPPH (Addab *et al.*, 2020).

Les résultats ont été exprimé en IC₅₀ (la concentration inhibitrice 50 : représente la quantité d'extrait requise pour inhiber 50 % des radicaux libres du DPPH) (Addab *et al.*, 2020).

5.1.Manipulation

- Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 3,6 mg de DPPH dans 90 ml de méthanol.
- Par la suite, 50 µl de l'extrait ou de la solution standard de quercetine ont été ajoutés à 1 250 µl de la solution méthanolique de DPPH
- Le mélange a été incubé à l'obscurité pendant 30 minutes, puis la diminution de la coloration violette a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.
- Un contrôle négatif, constitué de 1 250 µl de DPPH et de 50 µl de méthanol, a été utilisé comme référence.
- Des concentrations variées des extraits (0,5 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 mg/ml) ont été testées en parallèle avec le contrôle positif (quercetine). Les dilutions ont été préparées à l'aide de la formule suivante : $C_1V_1 = C_2V_2$.
- Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH (I%) par les extraits a été calculé selon l'équation suivante :

$$\text{I\%} = [(\text{Abs_blanc} - \text{Abs_échantillon}) / \text{Abs_blanc}] \times 100$$

- ❖ **Abs_blanc** représente l'absorbance du contrôle négatif mesurée à 517 nm,
- ❖ **Abs_échantillon** correspond à l'absorbance de l'extrait testé mesurée à la même longueur d'onde.
- Les IC₅₀ ont été déterminées à partir des équations des régressions linéaires pour chaque fraction.

6. Screening phytochimique

Le screening phytochimique constitue une méthode qualitative visant à détecter la présence de divers composés chimiques au sein d'un extrait végétal donné. Ces composés se répartissent en deux grandes catégories : les métabolites primaires et les métabolites secondaires. La mise en évidence des métabolites secondaires repose sur l'apparition de précipités ou de modifications de la coloration du milieu réactionnel, en présence de réactifs spécifiques en solution. L'un des

objectifs majeurs de l'étude des plantes médicinales consiste à isoler les constituants actifs responsables de leurs effets thérapeutiques. Dans ce contexte, les techniques de dépistage chimique s'avèrent particulièrement utiles, car elles permettent d'identifier la présence de groupes de composés bioactifs tels que : les huiles essentielles, les stérols, les triterpènes, les caroténoïdes, les alcaloïdes, les coumarines, les flavones aglycones et glycosides, les stéroïdes, les anthracénosides, les tanins, les amines oxydées et les saponosides. Le nombre élevé de ces classes chimiques rend indispensable le recours au dépistage phytochimique pour leur mise en évidence systématique (Franzyk et al., 1998).

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

6.1. Test des composés phénoliques

0,1 g de poudre végétale sèche a été dissoute dans 3 ml de méthanol, puis 5 gouttes de chlorure ferrique (FeCl_3) à 2 % ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration bleu-verdâtre indique la présence de composés phénoliques.

6.2. Test des flavonoïdes

Un volume de 1ml de chaque extrait de plante a été ajouté à 1ml de NaOH, l'apparition de couleur jaune indiquée la présence de flavonoïdes.

6.3. Test des saponines

Cinq milligrammes de poudre végétale sèche ont été vigoureusement agités avec 10 ml d'eau distillée pendant 2 minutes. La formation d'une mousse persistante pendant au moins 15 minutes révèle la présence de saponines.

6.4. Test des alcaloïdes

Un milligramme de poudre de chaque plante a été placé dans un tube à essai et traité avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique dilué à 1 %. Le mélange obtenu a été divisé en deux parties égales : la première a été traitée avec 0,5 ml de réactif de Mayer, et la seconde avec 0,5 ml de réactif de Wagner. L'apparition d'une turbidité ou d'un précipité blanc ou brun confirme la présence d'alcaloïdes.

6.5. Test des tanins

Deux milligrammes de poudre sèche ont été introduits dans un tube à essai, suivis de l'ajout de 0,5 ml de chlorure ferrique (FeCl_3) à 1 %. La présence de tanins est indiquée par l'apparition d'un précipité de couleur bleu-noir ou vert foncé.

6.6. Test des stéroïdes et triterpènes

5 mg de poudre végétale sèche ont été traités avec 0,5 ml d'anhydride acétique, suivie de l'ajout de 0,5 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Après une incubation de 15 minutes, le changement de couleur vers le violet, le bleu ou le vert dans certains échantillons suggère la présence de stéroïdes et/ou de triterpènes.

6.7. Test des quinones libres

Quelques gouttes de soude à 10 % (NaOH) ont été ajoutées à 5 mL d'extrait, un changement de couleur vers le jaune, le rouge ou le violet indique la présence de composés quinoniques.

6.8. Test des coumarines : fluorescence UV

Un volume de 1 mL d'extrait a été introduit dans chacun de deux tubes à essai. Dans l'un des tubes, 0,5 mL d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) dilué à 10 % a été ajouté, tandis que le second, non traité, a servi de témoin. Par la suite, une goutte de chaque solution a été déposée sur du papier filtre. L'apparition d'une fluorescence intense sous lumière ultraviolette à 366 nm révèle la présence de coumarines.

6.9. Test des composés réducteurs

Un volume de 2 mL d'extrait a été introduit dans un tube à essai suivi de l'ajout de 5 mL d'un mélange équimoléculaire des solutions de Fehling A et B. L'ensemble a été porté à ébullition au bain-marie pendant 2 minutes. La formation d'un précipité rouge brique témoigne de la présence de composés à caractère réducteur.

6.10. Test des anthraquinones

Cinq millilitres d'extrait ont été mélangés à un volume équivalent d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) dilué à 10 %. Après agitation, l'apparition d'une coloration violette constitue une indication positive de la présence d'anthraquinones.

6.11. Test des terpénoïdes

Cinq millilitres de chaque extrait ont été combinés avec 2 ml de chloroforme, puis 3 ml de H_2SO_4 concentré ont été ajoutés lentement, formant une couche distincte. L'apparition d'une

coloration brun rougeâtre à l'interface indique un résultat positif pour la présence de terpénoïdes.

7. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux

7.1. Dosage des polyphénols totaux

7.1.1. Principe

La méthode perfectionnée par Singleton et Rossi, (1965), repose sur l'utilisation du réactif de Folin-Ciocalteu pour la détermination des polyphénols. Ce réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). En présence de composés phénoliques, ces derniers subissent une oxydation qui entraîne la réduction des acides en oxydes bleus de tungstène et de molybdène. L'intensité de la coloration bleue ainsi générée, dont le pic d'absorbance se situe entre 725 et 750 nm, est proportionnelle à la teneur en polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

7.1.2. Manipulation

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon le protocole suivant :

Dans un tube à essai, 50 μ l de l'extrait ont été mélangés avec 250 μ l du réactif de Folin-Ciocalteu, suivis de l'ajout de 500 μ l de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 20 %. Après agitation au vortex, le volume final a été ajusté à 5 ml à l'aide d'eau distillée. Le mélange a ensuite été incubé pendant 30 minutes à température ambiante. La densité optique (DO) du mélange a été mesurée à une longueur d'onde de 727 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, l'eau distillée servant de blanc.

Une courbe d'étalonnage a été établie à partir de l'acide gallique comme composé standard. Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES) (**Bouaziz et Sayadi, 2005**).

7.2. Dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes totaux a été effectué par une méthode colorimétrique utilisant le trichlorure d'aluminium et l'hydroxyde de sodium (**Dewanto et al., 2002**).

7.2.1. Principe

Le trichlorure d'aluminium réagit avec les flavonoïdes pour former un complexe de couleur jaune, tandis que l'hydroxyde de sodium génère un complexe rosé. Ces complexes présentent une absorption maximale dans le domaine du visible à une longueur d'onde de 510 nm, selon la méthode décrite par **Zhishen et al. (1999)**.

7.2.2. Manipulation

Une solution standard de catéchine (20, 40, 60, 80 et 100 $\mu\text{g/ml}$) ainsi que 1 ml d'extrait de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia* ont été dilués dans 4 ml d'eau distillée. À temps zéro, 300 μl de NaNO_2 à 5 % ont été ajoutés à l'échantillon. Après une incubation de 5 minutes, 300 μl de chlorure d'aluminium (AlCl_3) à 10 % ont été incorporés, suivis à la sixième minute par l'ajout de 2 ml de NaOH (1 M). Le volume final de la solution a été ajusté à 10 ml à l'aide d'eau distillée, puis le mélange a été homogénéisé. L'absorbance de la solution obtenue a été mesurée à une longueur d'onde de 510 nm.

La quantification des flavonoïdes a été réalisée à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie avec un standard de flavonoïde, la catéchine. Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents de catéchine par gramme d'extrait sec (mg EC/g ES).

Chapitre II

Résultats et discussion



1. Résultats

1.1. Résultats de l'activité antibactérienne

Au cours de cette étude, nous avons étudié, *in vitro*, l'activité antibactérienne de deux extraits issus des plantes *Equisetum telmateia* et *Teucrium polium L.* en utilisant la méthode de diffusion sur disque dans un milieu gélosé (Muller Hinton). Pour chaque extrait, l'efficacité a été évaluée en mesurant le diamètre (en millimètres) des zones d'inhibition apparaissant autour des disques imprégnés, après une incubation de 24 heures à 37 °C, en présence de différentes souches bactériennes pathogènes.

Les résultats obtenus sont présentés dans les figures ci-dessus et récapitulés dans le tableau 1.

Tableau 1 : : diamètre des zones d'inhibition en (mm) de différents extraits de plantes

Souche bactérienne	concentration	<i>T. polium</i>		<i>E. telmateia</i>		Contrôle
		Extrait MeOH	Extrait EtOH	Extrait MeOH	Extrait EtOH	DMSO
<i>E.coli 7</i>	100 mg/ml	0	0	0	0	0
	200 mg/ml	10	0	0	10.33±1.52	0
<i>E.coli 18</i>	100 mg/ml	0	0	10	12.66±1.52	0
	200 mg/ml	08.66± 0.57	0	11.33±0.57	11.33±1.52	0
<i>S. saprophiticus</i>	100 mg/ml	9.66±0.57	0	13.66±1.52	11.66±0.57	0
	200 mg/ml	9.33±0.57	0	14±1	10	0
<i>E. coli ATCC 25422</i>	100 mg/ml	0	0	9.66±0.57	12	0
	200 mg/ml	8.66±0.57	0	9.33±0.57	15.33±0.57	0
<i>S.aureus ATCC 29213.</i>	100 mg/ml	21.66±1.52	23.33±1.52	13.66±0.57	19.66±0.57	0
	200 mg/ml	21.33±1.52	22±1.73	18.33±2.88	18±1	0
<i>K.pneumoniae ATCC 700603</i>	100 mg/ml	0	0	10	10	0
	200 mg/ml	0	0	11	12	0
<i>P.aeruginosa ATCC 27953</i>	100 mg/ml	10.66±2.08	9±1	13±1	12±1	0
	200 mg/ml	13±2	10.33±1.52	14.33±0.57	12.66±2.30	0

1.1.1. Résultats de l'activité antibactérienne de *Teucrium polium L*

Les résultats de l'étude de l'activité antibactérienne des extraits (méthanolique et éthanolique) de *Teucrium polium L* vis-à-vis d'*E. coli 7* sont montrés dans la figure 8 et la photographie 6. L'analyse de la figure 8 révèle que la souche *E. coli 7* a montré une résistance à l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* à la concentration de 100 mg/ml, tandis qu'une sensibilité significative a été observée à 200 mg/ml, avec un diamètre de la zone d'inhibition de 10 mm. En ce qui concerne l'extrait éthanolique, les résultats indiquent que la souche *E. coli 7* a présenté une résistance aux deux concentrations testées (100 mg/ml et 200 mg/ml). Le témoin DMSO n'a montré aucune activité inhibitrice.

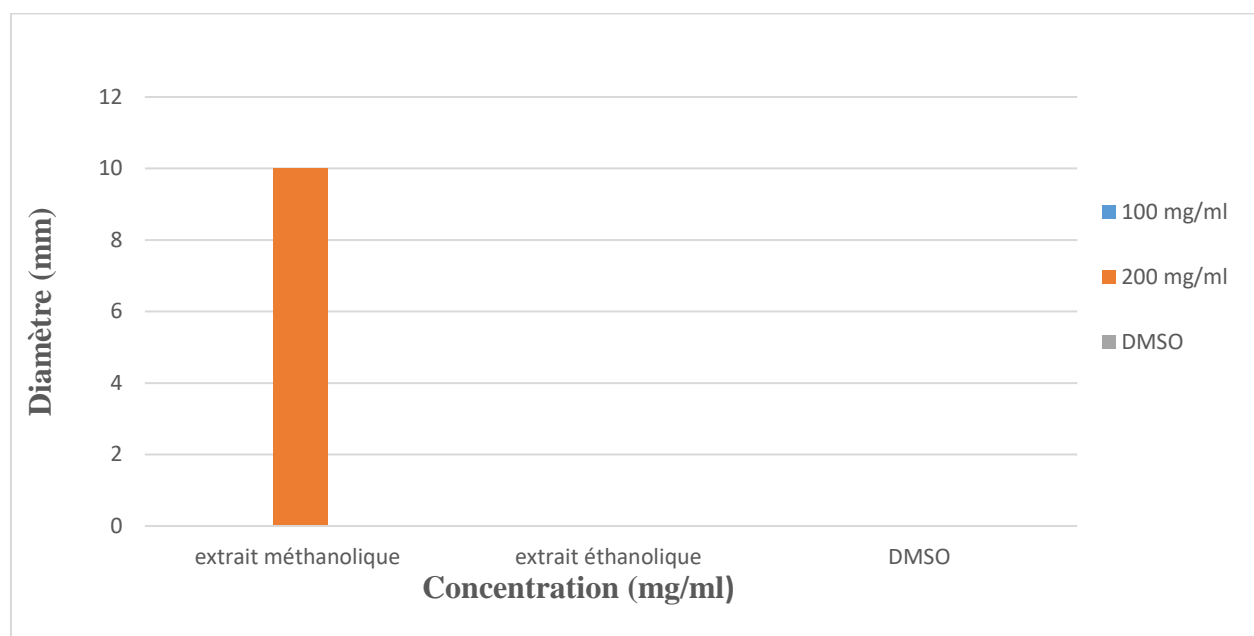


Figure 8: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d'*E. coli 7* en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.



Photographie 6: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) et DMSO de *Teucrium polium* vis-à-vis d' *E. coli* 7.

L'examen de la figure 9 et de la photographie 7 indique que la souche *E. coli* 18 était résistante aux deux extraits (éthanolique et méthanolique) de *Teucrium polium* aux deux concentrations testées (100 mg/ml et 200 mg/ml). Par ailleurs, aucune activité antibactérienne n'a été observée avec le témoin DMSO, confirmant son effet négatif.

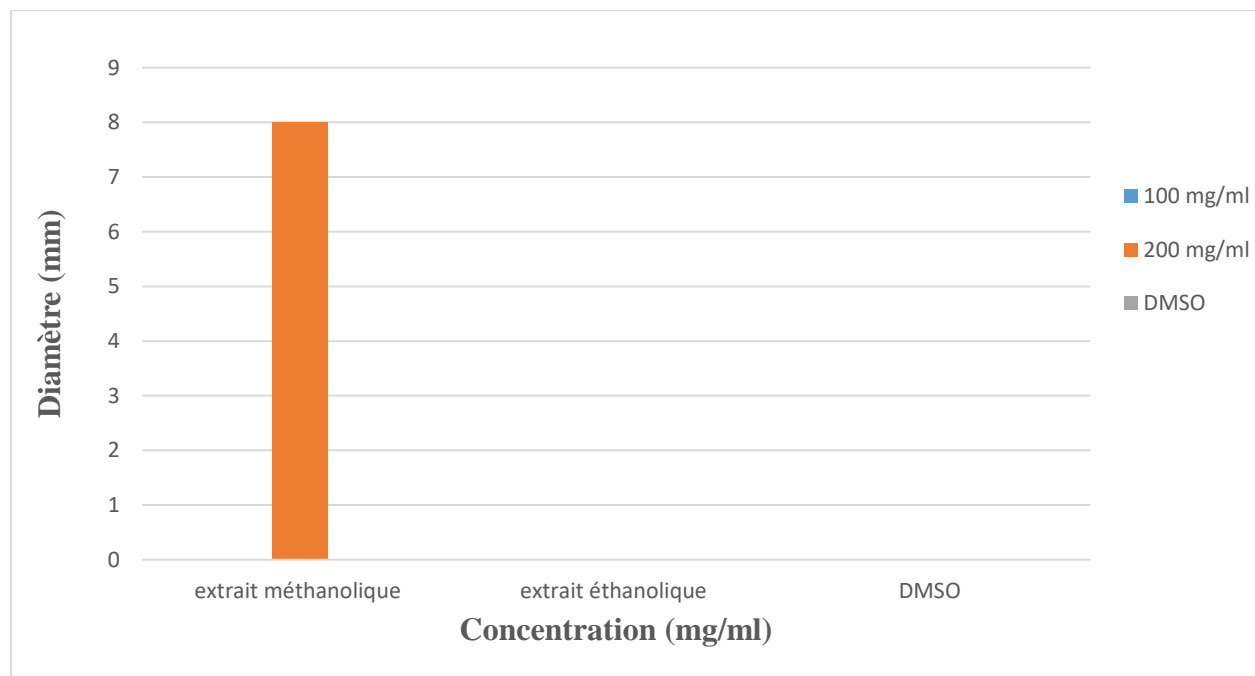
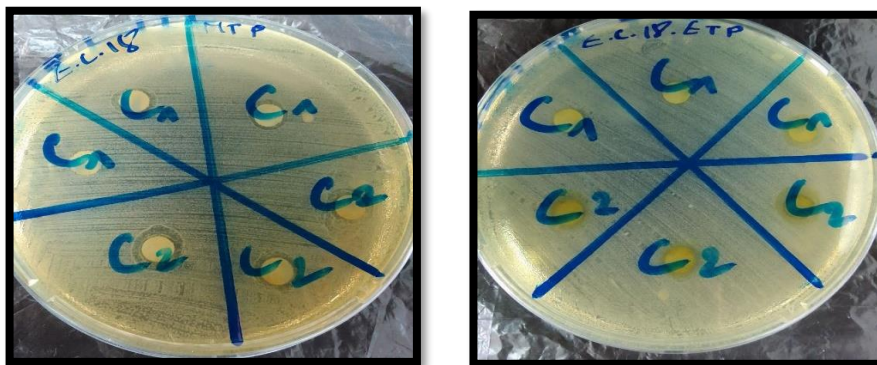


Figure 9: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d'*Escherichia coli* 18 en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.



Photographie 7: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de *Teucrium polium* vis-à-vis d'*E. coli* 18.

À partir de la figure 10 et de la photographie 8, il apparaît que l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* exerce une activité inhibitrice notable sur *S. saprophyticus* aux deux concentrations évaluées (100 mg/ml et 200 mg/ml) avec des zones d'inhibition qui correspondent à $9,66 \pm 0,57$ mm et $9,33 \pm 0,57$ mm respectivement. En revanche, l'extrait éthanolique de *Teucrium polium* s'est révélé inefficace à l'égard de cette souche qui a montré une résistance aux deux concentrations testées.

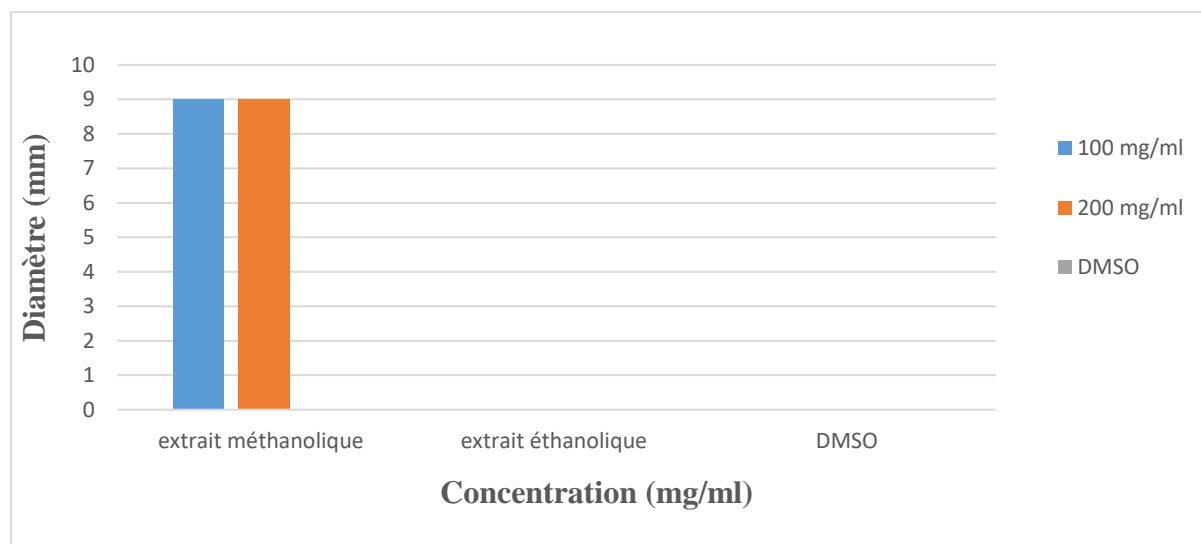
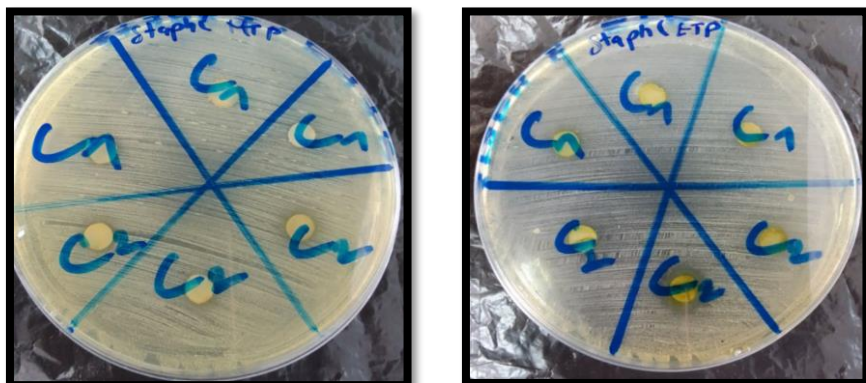


Figure 10: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *S. saprophyticus* en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.



Photographie 8: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de *Teucrium polium* vis-à-vis de *S. saprophyticus*.

L'analyse des résultats illustrés dans la figure 11 indique que les deux extraits éthanolique et méthanolique de *Teucrium polium* n'ont exercé aucune activité inhibitrice vis-à-vis de la souche *E. coli* ATCC 25422 aux deux concentrations de 200 mg/ml et 100 mg/ml. Le témoin DMSO n'a révélé aucune activité antibactérienne.

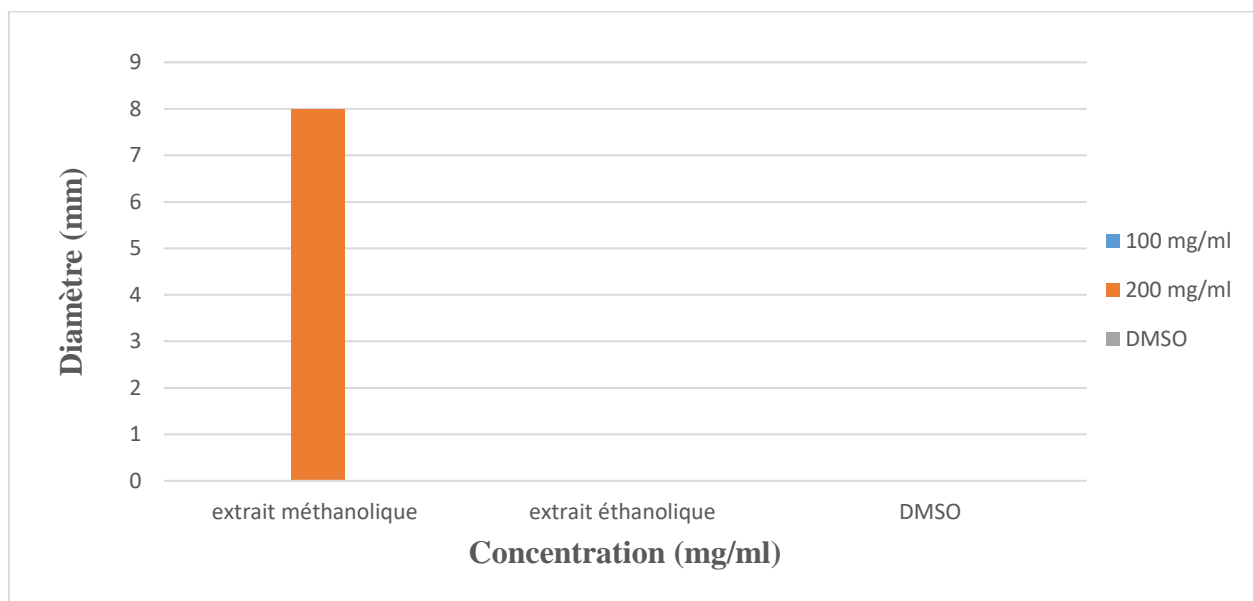


Figure 11: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d'*Escherichia coli* ATCC 25422 en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.

Les résultats relatifs à l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* ont mis en évidence un effet inhibiteur intéressant à l'égard de *S. aureus* ATCC 29213, avec des diamètres de zones d'inhibition de $21,66 \pm 1,52$ mm à 100 mg/ml et de $21,33 \pm 1,52$ mm à 200 mg/ml. De même, la souche a également montré une extrême sensibilité à l'extrait éthanolique avec des zones d'inhibition qui correspondent à $23,33 \pm 1,52$ mm et $22 \pm 1,73$ mm aux concentrations 100mg/ml et 200mg/ml respectivement. Le DMSO était toujours négatif. Les résultats sont illustrés dans la figure 12 et dans la photographie 9.

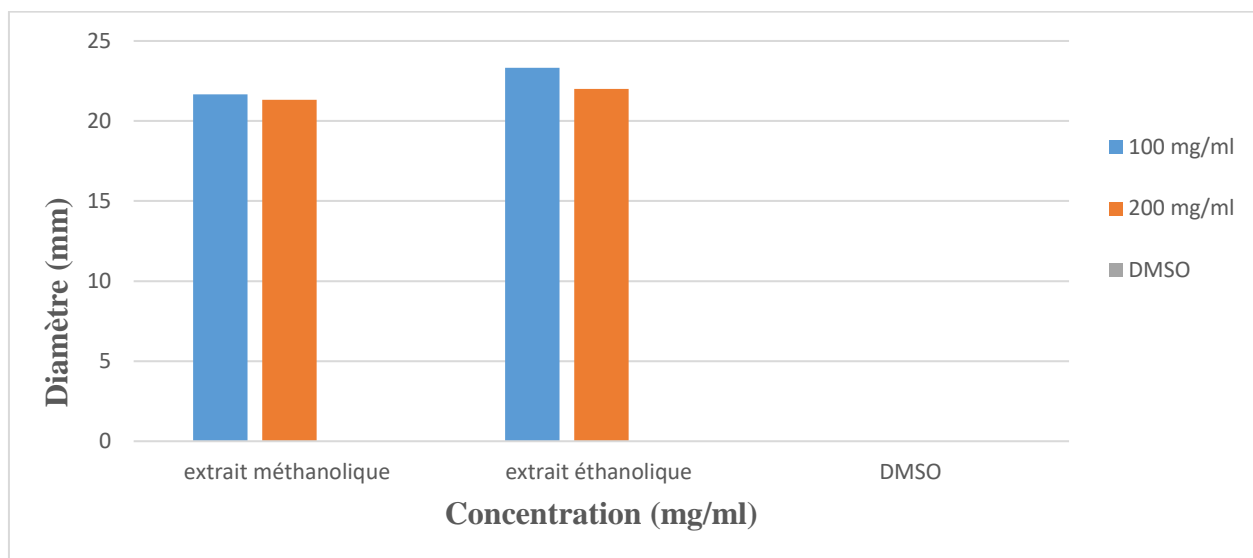


Figure 12: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.



Photographie 9: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de *Teucrium polium* vis-à-vis de *S. aureus* ATCC 29213.

L'analyse des résultats présentés dans la figure 13 indique que la souche *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 a montré une résistance aux deux extraits éthanolique et méthanolique de *Teucrium polium* pour les deux concentrations testées. Le témoin négatif (DMSO) n'a présenté aucune activité antibactérienne.

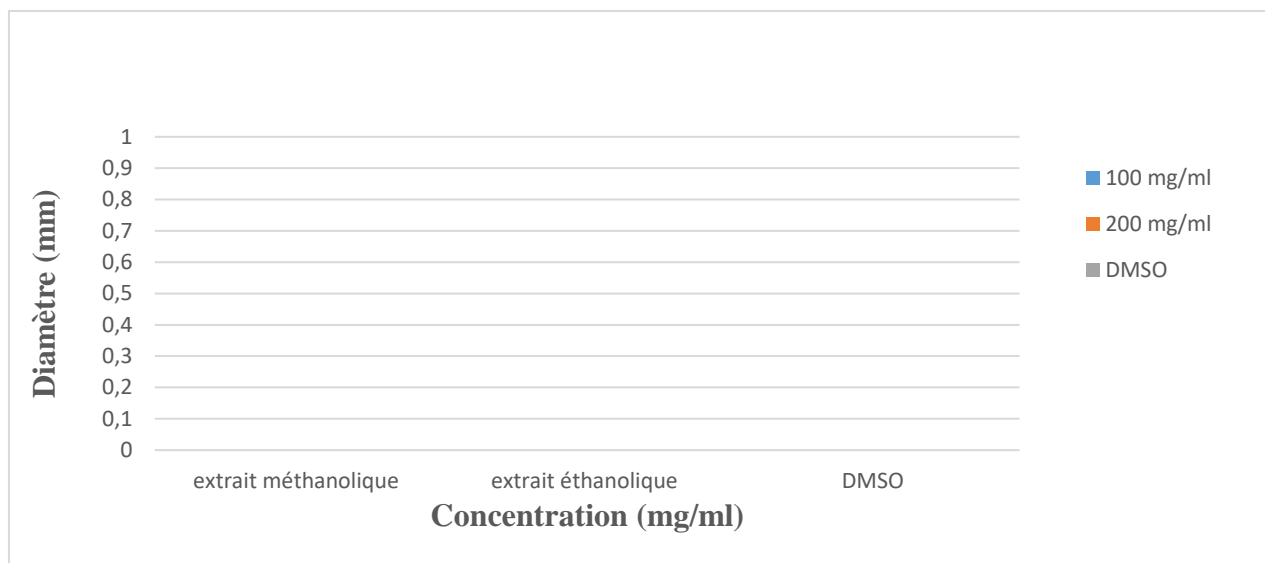
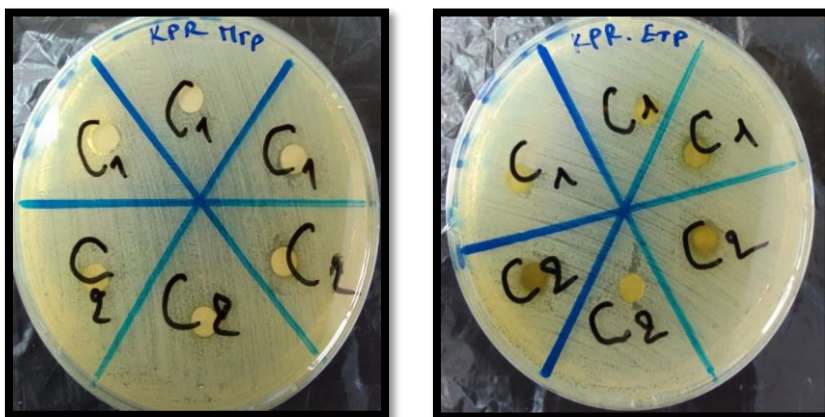


Figure 13: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.



Photographie 10: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de *Teucrium polium* vis-à-vis de *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* ont montré un effet inhibiteur notable à l'égard de *P. aeruginosa* ATCC 27953, avec des diamètres de zones d'inhibition de $10,66 \pm 2,08$ mm pour la concentration de 100 mg/ml et de 13 ± 2 mm pour celle de 200 mg/ml. De même, l'extrait éthanolique a révélé une activité inhibitrice significative aux deux concentrations (100 mg/ml et 200 mg/ml), avec des diamètres d'inhibition de 9 ± 1 mm à 100 mg/ml et $10,33 \pm 1,52$ mm à 200 mg/ml. Les résultats correspondants sont présentés dans la figure 14 et la photographie 11.

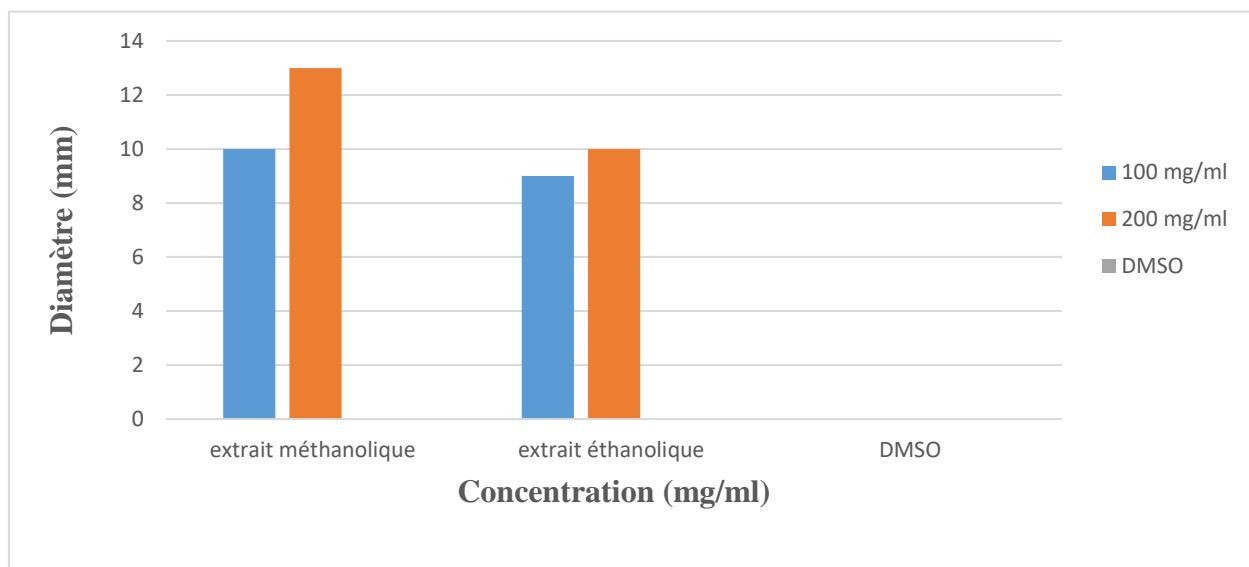


Figure 14: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27953 en fonction des deux concentrations des deux extraits de *Teucrium polium*.



Photographie 11: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) de *Teucrium polium* vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27953.

1.1.2. Résultats de l'activité antibactérienne d'*Equisetum telmateia*

Les résultats illustrés dans la figure 15 et la photographie 12 montrent que la souche *E. coli* 7 était résistante à l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* aux deux concentrations testées (100 mg/ml et 200 mg/ml). De même, une résistance a été observée à l'extrait éthanolique à la concentration de 100 mg/ml. En revanche, à 200 mg/ml, une sensibilité significative a été notée, avec un diamètre de zone d'inhibition de $10,33 \pm 1,52$ mm. Le témoin DMSO n'a montré aucun effet.

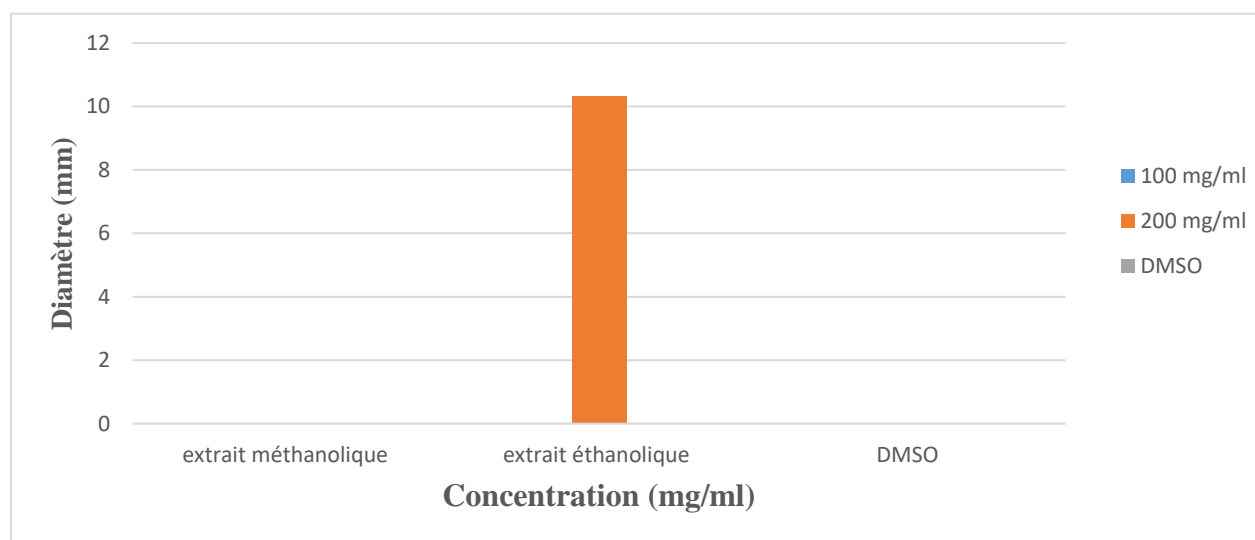
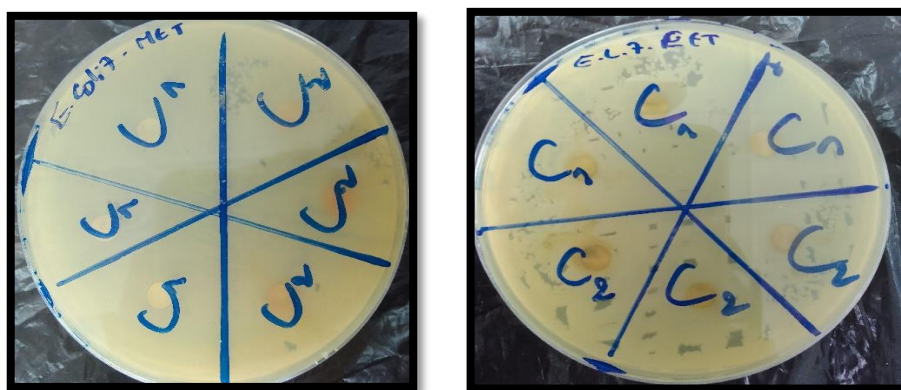


Figure 15: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d'*E. coli* 7 en fonction des deux concentrations des deux extraits d'*Equisetum telmateia*.



Photographie 12: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d'*Equisetum telmateia* vis-à-vis d'*E. coli* 7.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* ont montré un effet inhibiteur marqué à l'égard d'*E. coli* 18, avec des diamètres de zone d'inhibition de 10 mm et $11,33 \pm 0,57$ mm pour les concentrations respectives de 100 mg/ml et 200 mg/ml. De même la souche a révélé une sensibilité significative à l'extrait éthanolique aux deux concentrations (100 mg/ml et 200 mg/ml), avec des diamètres d'inhibition de $12,66 \pm 1,52$ mm à 100 mg/ml et $11,33 \pm 1,52$ mm à 200 mg/ml respectivement. Le témoin DMSO est resté négatif (figure 16 et photographie 13).

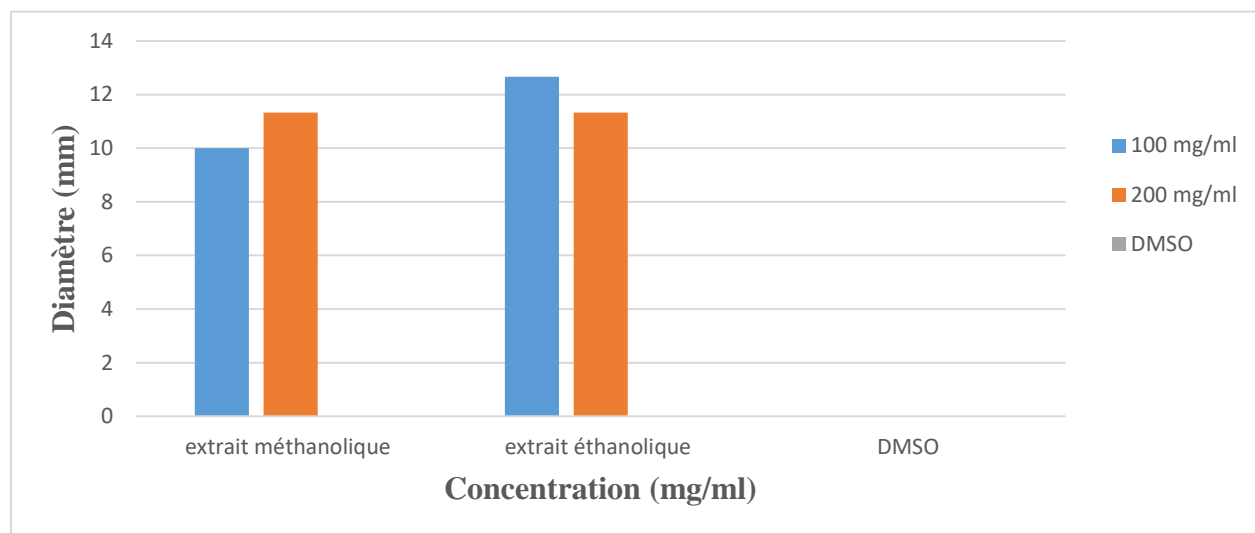
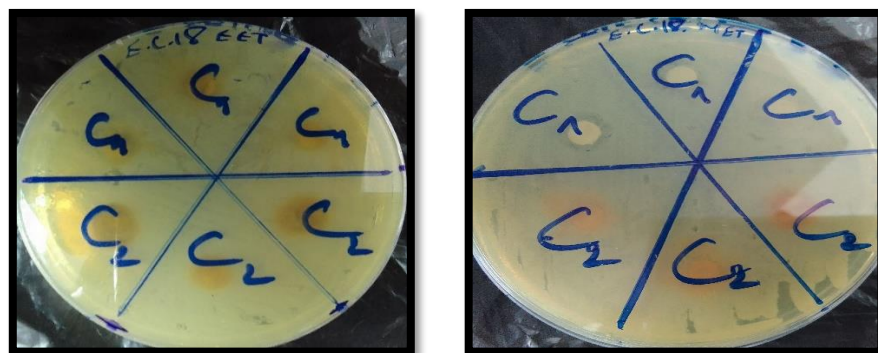


Figure 16: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d'*E. coli* 18 en fonction des deux concentrations des deux extraits d'*Equisetum telmateia*.



Photographie 13: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d'*Equisetum telmateia* vis-à-vis d'*E. coli* 18.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* à l'égard de *S. saprophyticus*, présentés dans la figure 17 et la photographie 14, ont révélé un effet inhibiteur notable de cet extrait, avec des diamètres d'inhibition de $13,66 \pm 1,52$ mm et 14 ± 1 mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml, respectivement. En revanche, l'extrait éthanolique a révélé une activité antibactérienne significative aux deux concentrations (100 mg/ml et 200 mg/ml), avec des diamètres d'inhibition de $11,66 \pm 0,57$ mm à 100 mg/ml et 10 mm à 200 mg/ml respectivement. Le témoin DMSO est resté négatif.

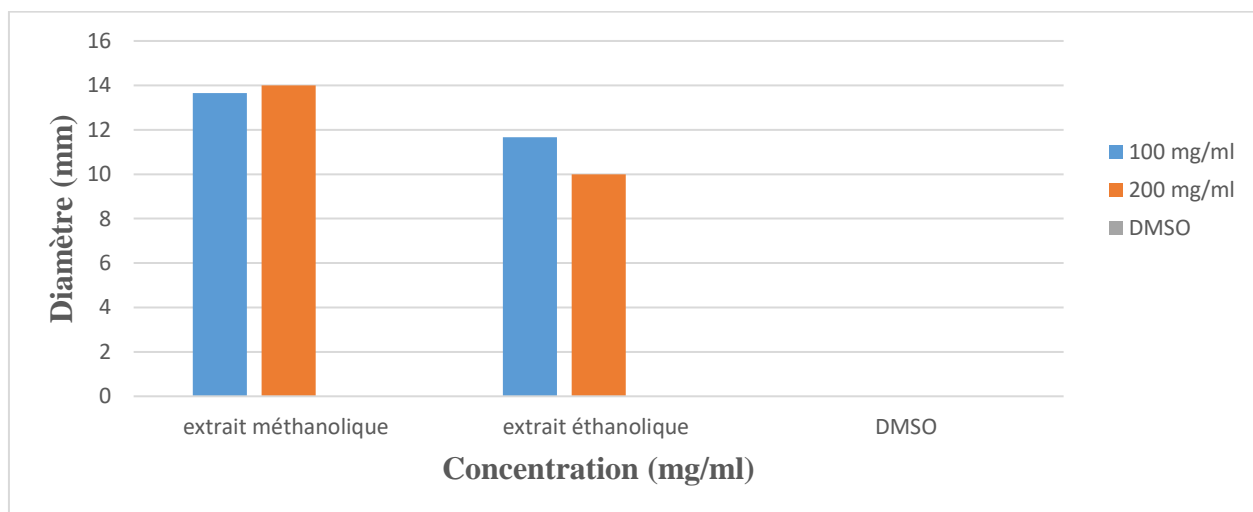
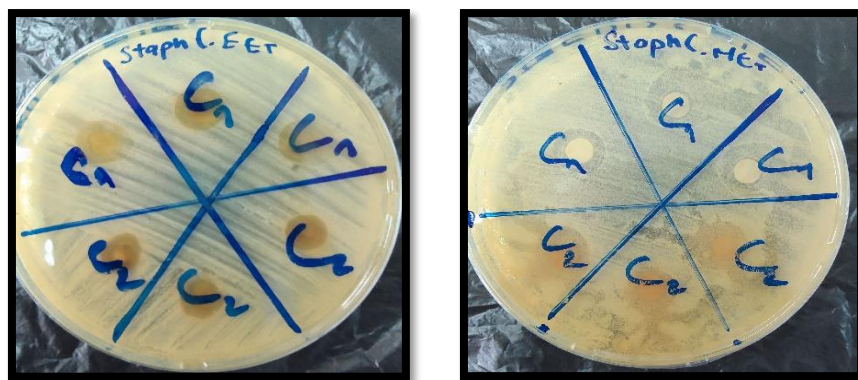


Figure 17: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *S. saprophyticus* en fonction des deux concentrations des deux extraits d' *Equisetum telmateia*



Photographie 14: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis de *S. saprophyticus*

La Figure 18 et la photographie 15 montrent clairement l'activité inhibitrice de l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* vis-à-vis de la souche *E. coli* ATCC 25422. Les résultats ont révélé des diamètres de zone d'inhibition de $9,66 \pm 0,57$ mm et $9,33 \pm 0,57$ mm pour les deux concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement. Pour l'extrait éthanolique, une inhibition significative de la souche testée à la fois pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml a été observée, avec des diamètres de zone d'inhibition de 12 mm et $15,33 \pm 0,57$ mm, respectivement. Le témoin DMSO n'a montré aucun effet.

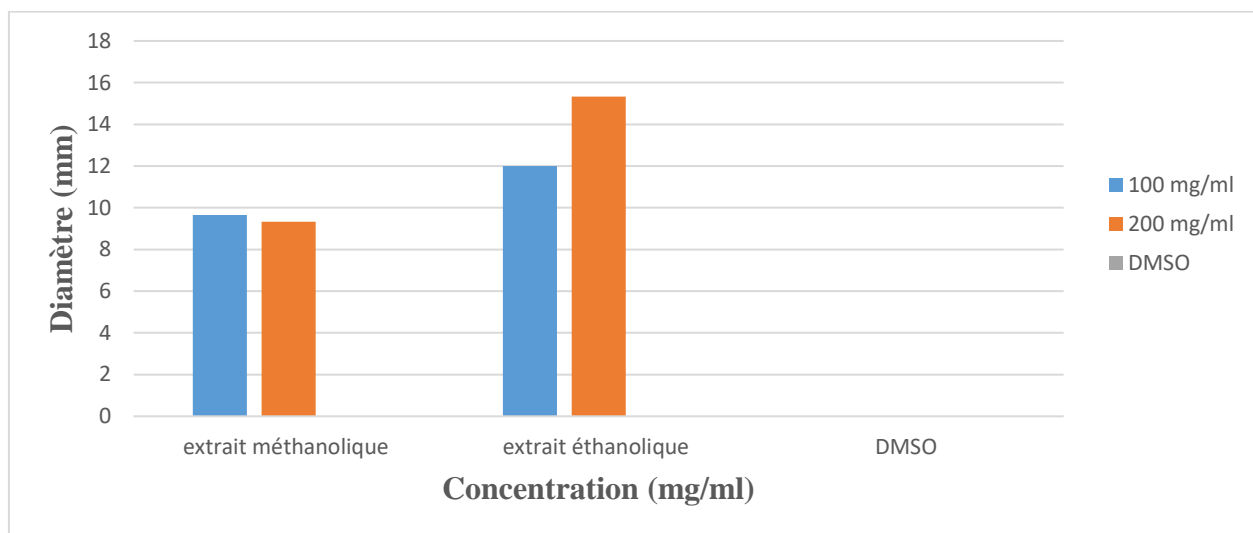
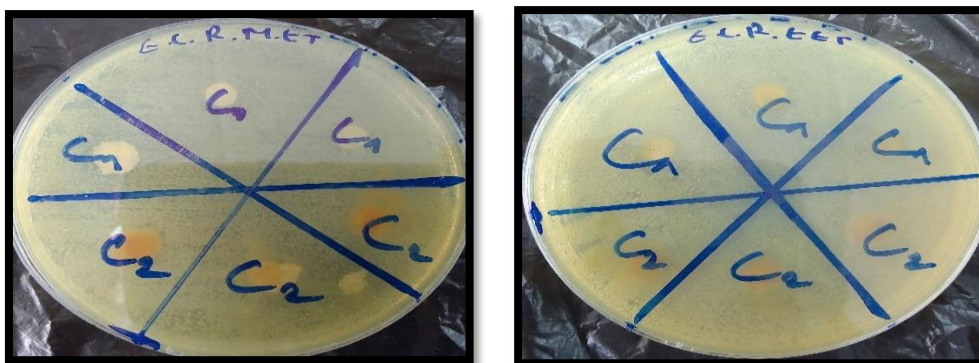


Figure 18: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis d'*E. coli* ATCC 25422 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' *Equisetum telmateia*



Photographie 15: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis d'*E. coli* ATCC 25422.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* ont révélé un effet inhibiteur significatif à l'égard de *S. aureus* ATCC 29213, avec des diamètres d'inhibition de $13,66 \pm 0,57$ mm et $18,33 \pm 2,88$ mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml respectivement. L'extrait éthanolique semble présenter une efficacité légèrement supérieure à celle de l'extrait méthanolique contre la croissance de la souche. Il est à noter qu'à la concentration de 100 mg/ml, la zone d'inhibition a atteint environ $19,66 \pm 0,57$ mm et à 200 mg/ml, la zone d'inhibition était d'environ 18 ± 1 mm. Le témoin DMSO n'a montré aucun effet. Ces résultats sont présentés dans la figure 19 et dans la photo 16.

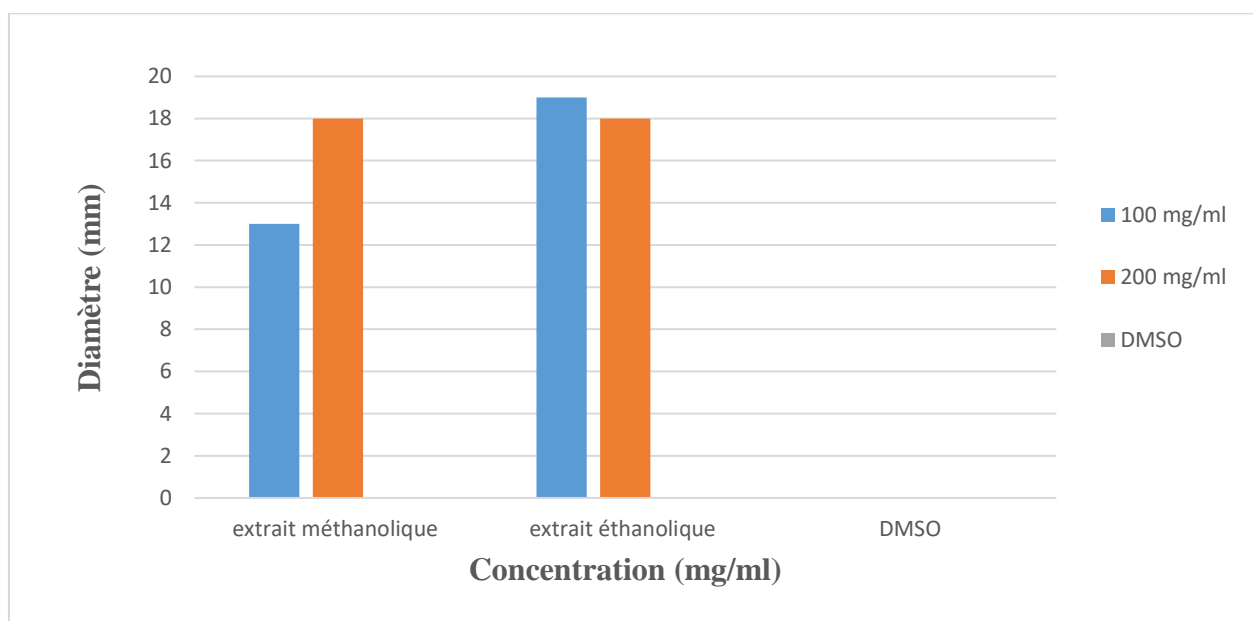
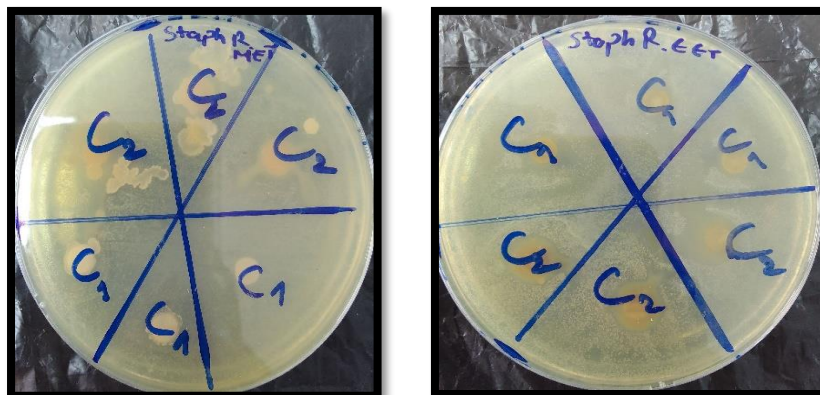


Figure 19: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *S. aureus* ATCC 29213 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' *Equisetum telmateia*



Photographie 16: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis de *S. aureus* ATCC 29213.

La figure 20 et la photo 17 montrent que l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* a exercé une inhibition notable à l'égard de *K. pneumoniae* ATCC 700603, avec des zones d'inhibition de 10 mm et 11 mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml, respectivement. De plus, la souche a montré une sensibilité significative à l'extrait éthanolique aux deux concentrations testées (100 mg/ml et 200 mg/ml), avec des diamètres d'inhibition de 10 mm et 12 mm, respectivement. Le témoin DMSO est resté négatif.

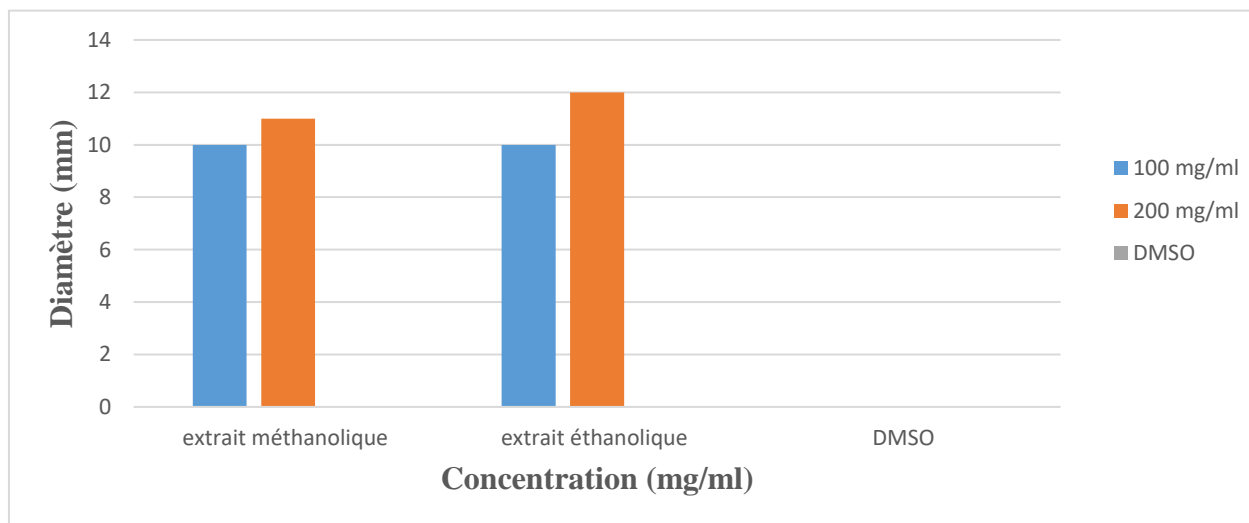


Figure 20: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *K. pneumoniae* ATCC 700603 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' *Equisetum telmateia*



Photographie 17: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis de *K. pneumoniae* ATCC 700603.

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia* ont montré un effet inhibiteur significatif vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27953, avec des diamètres d'inhibition de 13 ± 1 mm et $14,33 \pm 0,57$ mm pour les concentrations de 100 mg/ml et 200 mg/ml, respectivement. En ce qui concerne l'extrait éthanolique, les diamètres d'inhibition étaient de 12 ± 1 mm à 100 mg/ml et de $12,66 \pm 2,30$ mm à 200 mg/ml (figure 21 et la photo 18).

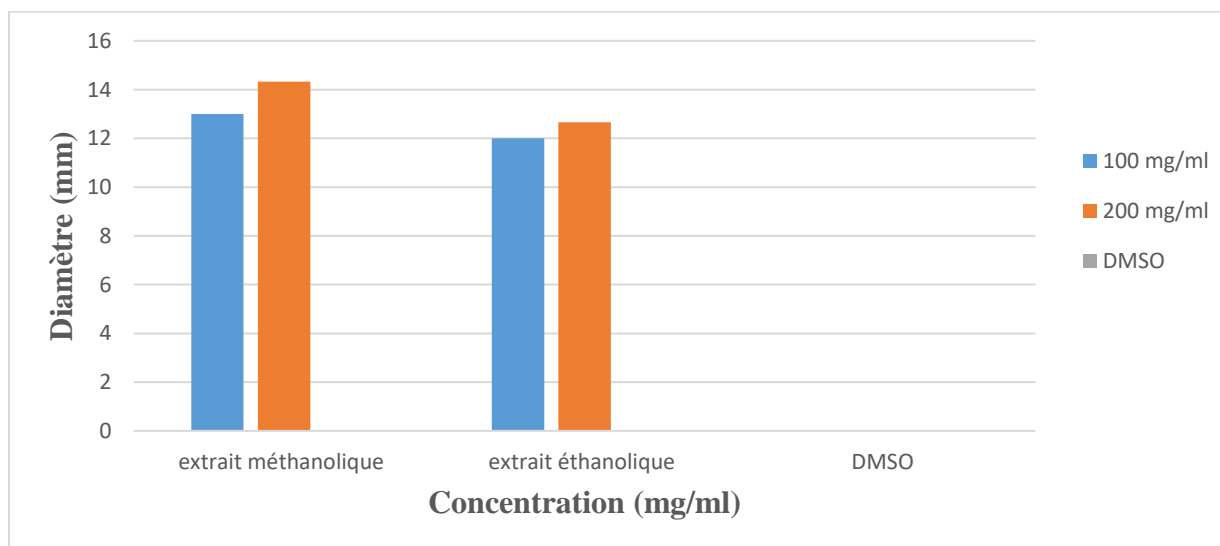
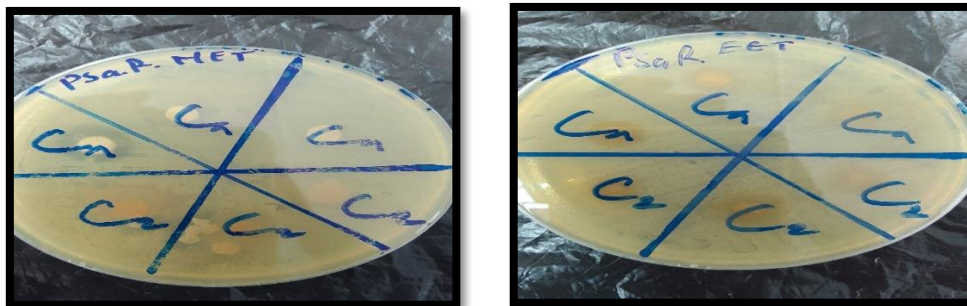


Figure 21: La moyenne des diamètres des zones d'inhibition vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27953 en fonction des deux concentrations des deux extraits d' *Equisetum telmateia*



Photographie 18: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (éthanolique et méthanolique) d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis de *P. aeruginosa* ATCC 27953.

1.2. Résultats de la concentration minimale inhibitrice CMI

Suite à la mise en évidence de l'activité antibactérienne des extraits bruts par la méthode des disques, nous avons procédé à la détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) des deux extraits méthanoliques et éthanoliques de *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia*. Cette évaluation a été réalisée selon la méthode de dilution en série, en utilisant des concentrations décroissantes des extraits.

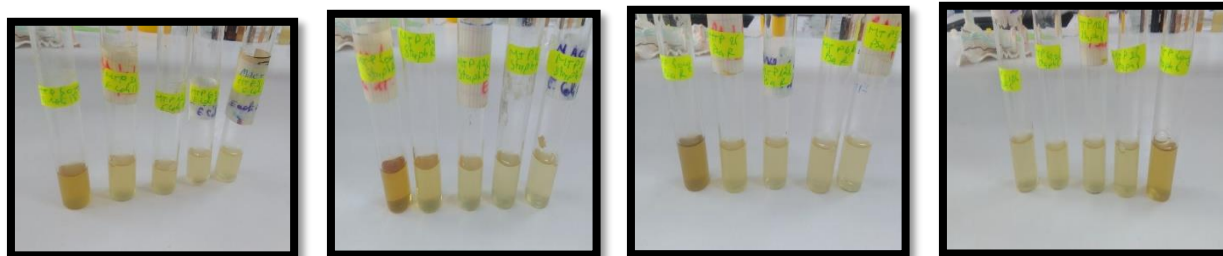
Les valeurs de la concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'extrait méthanolique et éthanolique de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia* à l'égard des espèces bactériennes pathogènes sensibles sont représentées dans les photographies et les tableaux ci-dessus :

Tableau 2: Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique de *Teucrium polium* vis-à-vis des souches sensibles.

Souche	50 mg/ml	25 mg/ml	12,5 mg/ml	6,25 mg/ml	3,125 mg/ml	1,5 mg/ml
<i>S.aureus</i> ATCC 29213	-	-	+	+	+	+
<i>S. saprophiticus</i>	-	+	+	+	+	+
<i>P.aeruginosa</i> ATCC 27953	-	+	+	+	+	+
<i>E. coli</i> 18	-	+	+	+	+	+

(-): Absence de trouble

(+) : Présence de trouble



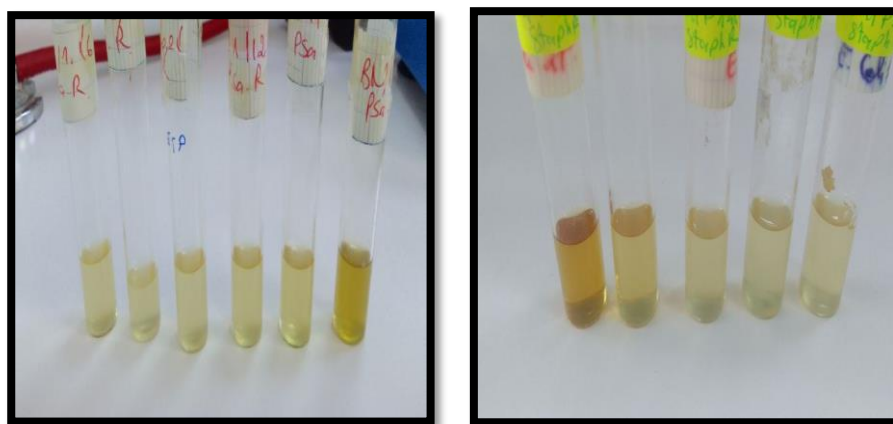
Photographie 19: Résultats de la CMI de l'extrait méthanolique de *Teucrium polium*

Tableau 3: : Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique de *Teucrium polium* vis-à-vis des souches sensibles.

	50	25	12,5	6,25	3,125	1,56
Souche	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml
<i>S.aureus</i> ATCC 29213	-	-	+	+	+	+
<i>P.aeruginosa</i> ATCC 27953	-	+	+	+	+	+

(-): Absence de trouble

(+): Présence de trouble



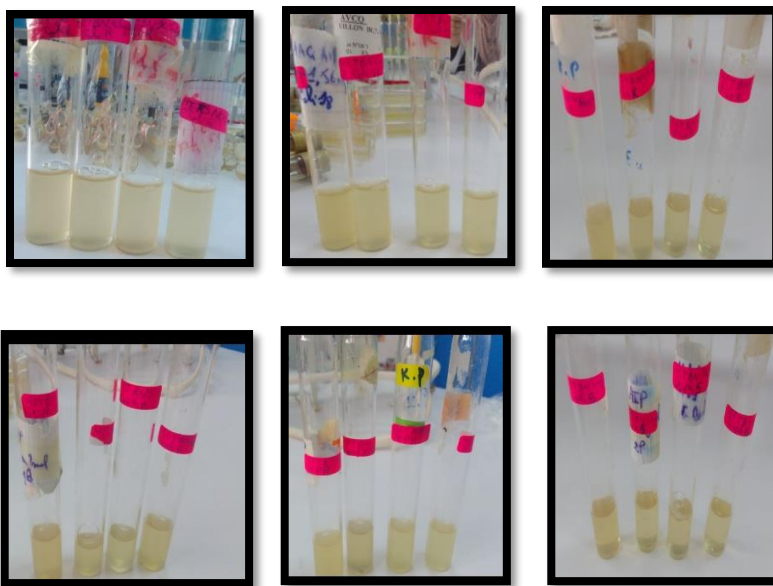
Photographie 20: Résultats de la CMI de l'extrait éthanolique de *Teucrium polium*.

Tableau 4: : Les valeurs de la CMI de l'extrait méthanolique d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis des souches sensibles.

	50	25	12,5	6,25	3,125	1,5
Souche	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml	mg/ml
<i>E. coli</i> ATCC 25422	+	+	+	+	+	+
<i>S. saprophiticus</i>	-	+	+	+	+	+
<i>K.pneumoniae</i> ATCC 700603	-	+	+	+	+	+
<i>E. Coli</i> 18	-	+	+	+	+	+
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27953	-	+	+	+	+	+
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	+	+	+	+	+	+

(-): Absence de trouble

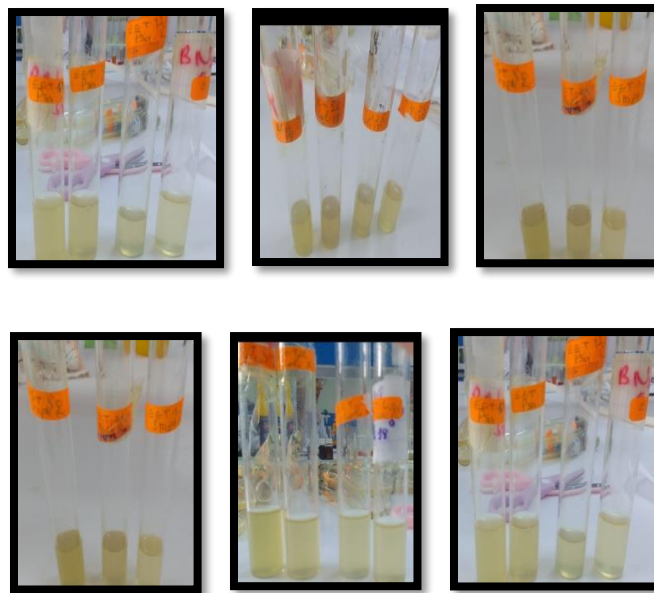
(+) : Présence de trouble

Photographie 21: Résultats de la CMI de l'extrait méthanolique d' *Equisetum telmateia*.Tableau 5: : Les valeurs de la CMI de l'extrait éthanolique d' *Equisetum telmateia* vis-à-vis des souches sensibles.

Souche	50 mg/ml	25 mg/ml	12,5 mg/ml	6,25 mg/ml	3,125 mg/ml	1,5 mg/ml
<i>E. coli</i> ATCC 25422	-	+	+	+	+	+
<i>S.aureus</i> ATCC 29213	-	+	+	+	+	+
<i>S. saprophiticus</i>	-	+	+	+	+	+
<i>K.pneumoniae</i> ATCC 700603	-	+	+	+	+	+
<i>E. coli</i> 18	-	-	+	+	+	+
<i>P.aeruginosa</i> ATCC 27953	-	-	+	+	+	+

(-): Absence de trouble

(>): Présence de trouble

Photographie 22: Résultats de la CMI de l'extrait éthanolique d'*Equisetum telmateia*

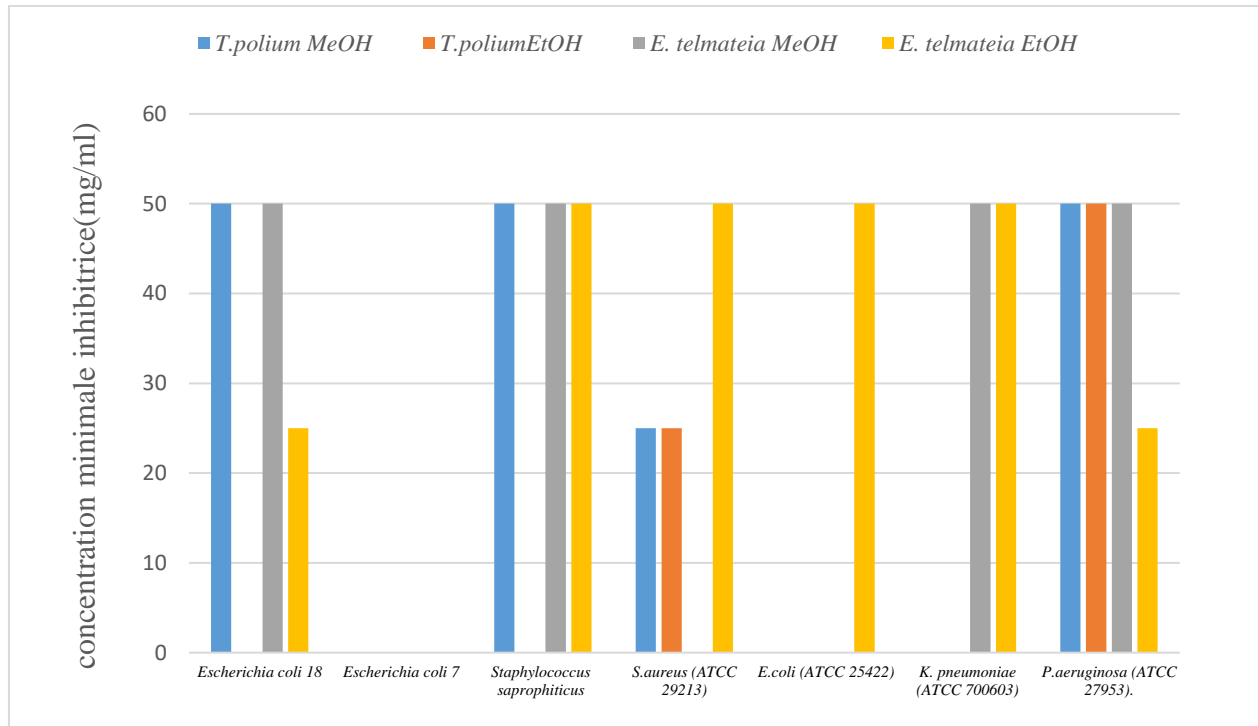


Figure 22: La concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits d' *E. telmateia* et de *T. polium* vis à-vis des souches bactériennes sensibles.

L'examen des photographies 19, 20, 21, 22 et de la figure 22 révèle une diminution progressive de l'intensité des troubles causés par la croissance bactérienne à mesure que la concentration des extraits augmente dans les tubes expérimentaux. La figure analysée (22) rapporte les résultats de la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) des extraits méthanoliques et éthanoliques de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia* vis-à-vis des différentes souches bactériennes sensibles.

Extrait méthanolique de *Teucrium polium*

Les souches *E. coli* 18, *S. saprophyticus* et *P. aeruginosa* ATCC 27953 ont présenté une activité antibactérienne modérée avec une CMI de 50 mg/ml, indiquant une efficacité limitée de l'extrait. En revanche, la souche *S. aureus* ATCC 29213 a montré une meilleure sensibilité, avec une CMI de 25 mg/ml, traduisant une activité inhibitrice plus marquée.

✚ Extrait éthanolique de *Teucrium polium*

La souche la plus sensible était *S.aureus* ATCC29213, avec une CMI de 25 mg/ml, indiquant une forte activité inhibitrice. En revanche, pour *P.aeruginosa* ATCC 27953, une CMI de 50 mg/ml a été enregistrée, ce qui reflète une résistance relative à cet extrait.

✚ Extrait méthanolique d'*Equisetum telmateia*

Les souches *E. coli* 18, *S. saprophyticus*, *K. pneumoniae* ATCC700603 et *P.aeruginosa* ATCC 27953 ont toutes présenté une CMI élevée de 50 mg/ml, indiquant une activité antibactérienne modérée de l'extrait.

✚ Extrait éthanolique d'*Equisetum telmateia*

Les souches *E. coli* ATCC25422, *S. saprophyticus*, *S.aureus* ATCC29213 et *K. pneumoniae* ATCC700603 ont montré une CMI de 50 mg/ml, ce qui témoigne d'une activité antibactérienne relativement faible. En revanche, les souches *E. coli* 18 et *P.aeruginosa* ATCC 27953 ont révélé une CMI plus basse, de 25 mg/ml, indiquant une sensibilité à cet extrait.

1.3.Résultats de screening phytochimique

Des analyses de screening phytochimique ont été réalisées sur deux extraits différents, préparés à partir d'*Equisetum telmateia* et de *Teucrium polium* L., dans le but de mettre en évidence les principaux groupes chimiques présents dans ces deux espèces végétales. Les résultats sont présentés dans le tableau 7 et dans les photographies 23, 24.

Les analyses phytochimiques ont mis en évidence la présence de polyphénols, flavonoïdes, tanins et terpénoïdes dans les extraits des deux plantes *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia*. En revanche, les anthraquinones n'ont été détectées dans aucun des extraits. Les alcaloïdes ainsi que les composés réducteurs étaient présents uniquement dans les extraits méthanoliques des deux espèces, mais absents dans leurs extraits éthanoliques. Les saponines ont été détectées dans *T. polium* ainsi que dans l'extrait éthanolique de *E. telmateia*, tandis qu'elles ont été absentes dans l'extrait méthanolique de cette dernière. Les coumarines étaient détectées dans les extraits de *E. telmateia* ainsi que dans l'extrait méthanolique de *T. polium*, mais absentes dans son extrait éthanolique. Les stéroïdes et triterpènes ont été observés uniquement dans les extraits éthanoliques des deux plantes, et absents des extraits méthanoliques. Enfin, les quinones libres n'ont été

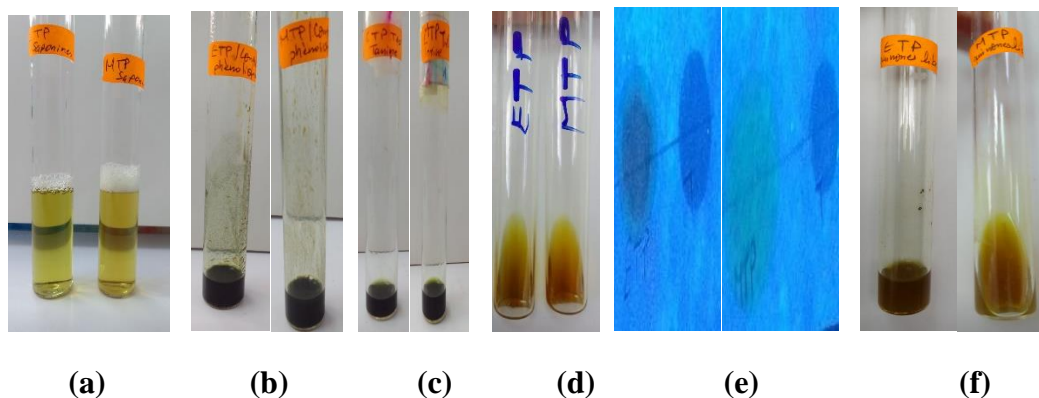
présentes que dans l'extrait méthanolique de *E. telmateia* et absentes chez *T. polium* ainsi que dans l'extrait éthanolique d' *E. telmateia*.

Tableau 6: Résultats des tests phytochimiques des plantes étudiées.

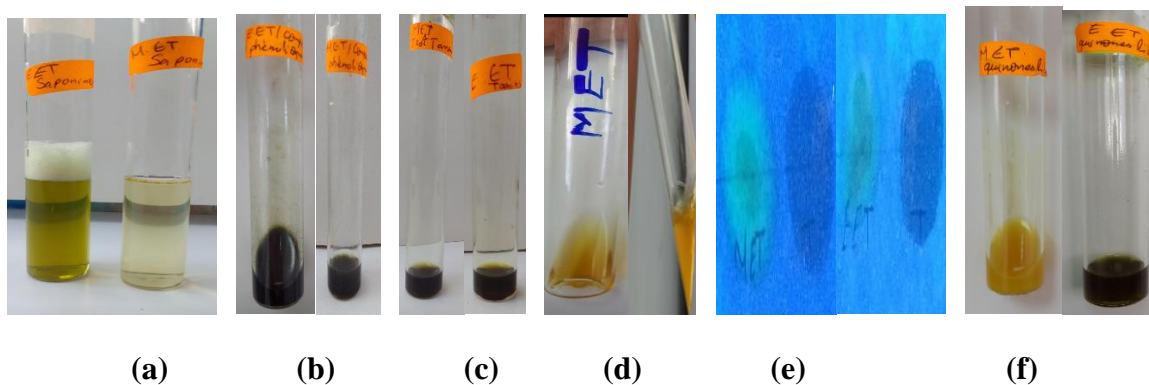
Le test	<i>T. polium</i>		<i>E. telmateia</i>		Observation
	Extrait MeOH	Extrait EtOH	Extrait MeOH	Extrait EtOH	
Composés phénoliques	+	+	+	+	Apparition d'une couleur Bleu – verdâtre
Flavonoïdes	+	+	+	+	l'apparition de couleur jaune
Saponines	+	+	-	+	La formation d'une mousse
Tannins	+	+	+	+	Apparition d'une couleur vert foncé.
Quinones libre	-	-	+	-	Apparition d'une couleur qui vire jaune (miel)
Coumarines	+	-	+	+	une fluorescence intense
Stéroïdes et triterpènes	-	+	-	+	Apparition de la couleur violette
Composés Réducteurs	+	-	+	-	La formation d'un précipite rouge brique
Anthraquinones	-	-	-	-	Appariion d'une coloration violette
Alcaloïdes	+	-	+	-	La formation d'un précipite blanc ou brun
Terpénoides	+	+	+	+	Apparition d'une couleur brune

(-): Test négatif

(+): Test positif



Photographie 23: Résultats des tests phytochimiques de la plante *Teucrium polium*



Photographie 24: Résultats des tests phytochimiques de la plante *Equisetum telmateia*.

- (a) Saponines (b) Composés phénoliques (c) Tanins
 (d) Flavonoïdes (e) Coumarines (f) Quinones libre

1.4. Résultats des analyses quantitatives par dosage spectrophotométrique

1.4.1. Résultats de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes

La détermination de la teneur en polyphénols totaux dans les extraits méthanoliques et éthanoliques des plantes étudiées a été réalisée par la méthode spectrophotométrique de Folin-Ciocalteu. Cette méthode repose sur la réaction des composés phénoliques avec le réactif de Folin-Ciocalteu, produisant un complexe coloré mesuré à une longueur d'onde de 727 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g),

en se basant sur la courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique, dont l'équation de régression linéaire est : $y = 0,001x + 0,014$.

La quantification des flavonoïdes totaux a été effectuée selon la méthode du trichlorure d'aluminium. Cette technique repose sur la formation d'un complexe stable entre les flavonoïdes et les ions aluminium, présentant une absorption maximale à une longueur d'onde de 510 nm. La catéchine a été utilisée comme standard de référence pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents de catéchine par gramme d'extrait sec (mg EC/g). La teneur en flavonoïdes a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage correspondant à l'équation : $y = 0,004x$.

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

Tableau 7: : Dosage des polyphénols et des flavonoïdes des extraits d' *Equisetum telmateia* et de *Teucrium polium L.*

Extraits des plantes	Polyphénols (mg EAG/g Es)	Flavonoïdes (mg EC/g Es)
Extrait méthanolique de <i>T.polium</i>	437.66±41.28	158.66±4.16
Extrait méthanolique de <i>E.telmateia</i>	411±35.67	98.66±13.31
Extrait éthanolique de <i>T.polium</i>	350.66±18.00	217.66±7.02
Extrait éthanolique de <i>E.telmateia</i>	176.33±3.05	219±17.08

D'après les résultats obtenus, il apparaît que les extraits (méthanolique et éthanolique) de la plante *Teucrium polium* sont particulièrement riches en polyphénols. L'extrait méthanolique

présente la teneur la plus élevée avec $437,66 \pm 41,28$ mg EAG/g Es. En revanche, une teneur de $350,6 \pm 18,00$ mg EAG/g Es a été enregistrée pour l'extrait éthanolique. Concernant la plante *Equisetum telmateia*, les concentrations en polyphénols sont également importantes, notamment dans l'extrait méthanolique qui indique une valeur de $411 \pm 35,67$ mg EAG/g Es, alors que l'extrait éthanolique présente une concentration plus faible qui correspond à $176,33 \pm 3,05$ mg EAG/g Es. En ce qui concerne les flavonoïdes, les extraits de *Teucrium polium* révèlent des teneurs respectives de $158,66 \pm 4,16$ mg EC/g Es pour l'extrait méthanolique et de $217,66 \pm 7,02$ mg EC/g Es pour l'extrait éthanolique. Quant aux extraits d'*Equisetum telmateia*, ils contiennent une plus faible quantité de flavonoïdes, avec $219 \pm 17,08$ mg EC/g Es pour l'extrait éthanolique et $98,66 \pm 13,31$ mg EC/g Es pour l'extrait méthanolique.

1.5. Résultats de l'activité anti-oxydante (test de piégeage du radical libre DPPH)

L'activité antioxydante des extraits méthanoliques et éthanoliques de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia* a été déterminée par spectrophotométrie, en utilisant le test du radical libre DPPH. Cette méthode repose sur la capacité des extraits à réduire le radical DPPH entraînant un changement de couleur du violet au jaune, indicatif de l'activité antioxydante. L'efficacité des extraits a été exprimée en termes de concentration inhibitrice à 50 % (IC₅₀), en comparaison avec un antioxydant standard, quercétine. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 8

Tableau 8: Les valeurs de l'IC 50 des extraits et standard

Les extraits	Valeur d'IC ₅₀ (mg/ml)
Extrait méthanolique de <i>T.polium</i>	$0,7596 \pm 0,079$
Extrait méthanolique de <i>E.telmateia</i>	$0,444 \pm 0,18$
Extrait éthanolique de <i>T.polium</i>	$0,231 \pm 0,303$
Extrait éthanolique de <i>E.telmateia</i>	$0,076 \pm 0,009$
Quercétine	$0,045 \pm 0,0077$

Selon les données du tableau 8, les extraits (méthanolique et éthanolique) de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia* présentent une forte activité antioxydante. En particulier, la valeur d'IC₅₀

de l'extrait éthanolique de *E. telmateia* ($0,076 \pm 0,009$ mg/ml) est proche de celle de la quercétine ($0,045 \pm 0,0077$ mg/ml). En revanche, les autres extraits présentent des valeurs d'IC₅₀ comprises entre $0,7596 \pm 0,079$ et $0,232 \pm 0,303$ mg/ml. L'IC₅₀ est inversement lié à la capacité anti-oxydante d'un composé, car il montre la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur d'IC₅₀ est basse, plus l'activité antioxydante d'un composé est élevée (Addab et al., 2020).

2. Discussion

2.1. Activité antibactérienne

Au cours de cette étude, les résultats ont montré que les extraits méthanoliques et éthanoliques des deux plantes médicinales testées, *Equisetum telmateia* et *Teucrium polium* L., ont présenté des activités antibactériennes variables en fonction des souches bactériennes ciblées, avec une hétérogénéité marquée dans les diamètres des zones d'inhibition.

Parmi tous les extraits analysés, l'extrait éthanolique de *Teucrium polium* L. s'est distingué par sa forte activité antibactérienne, en particulier à l'égard des bactéries à Gram positif telles que *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, avec une zone d'inhibition atteignant 23,33 mm. Il a également montré une efficacité notable vis-à-vis de certaines bactéries à Gram négatif, notamment *E. coli* 7 et *P. aeruginosa* ATCC 27953, ce qui suggère un potentiel antibactérien à large spectre. Ces résultats corroborent ceux rapportés par Othman et al. (2017), qui ont montré que l'extrait éthanolique des parties aériennes de *T. polium*, récoltées au mont Zarroug à Gafsa (sud-ouest de la Tunisie), présentait une activité antibactérienne variable selon les souches, avec une résistance plus marquée chez *P. aeruginosa* (zones d'inhibition de 9 à 13 mm) et une plus grande sensibilité chez *S. aureus* (10 à 17 mm). De plus, Sharifi-Rad et al. (2022) ont montré que l'extrait méthanolique des parties aériennes et des racines de *T. polium*, récoltées à différents stades phénologiques, exerçait une activité antibactérienne significative contre les souches testées, notamment *E. coli* et *S. aureus*. Par ailleurs, Hammoudi et al. (2012) ont rapporté que l'extrait d'acétate d'éthyle obtenu à partir des parties aériennes de *T. polium*, récoltées à Tamanrasset (région du Hoggar, au sud de l'Algérie), possédait un large spectre d'activité antibactérienne, efficace aussi bien contre les bactéries à Gram positif que Gram négatif, telles que *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli*.

D'une manière générale, *Teucrium polium* se caractérise par un fort potentiel antibactérien contre une variété de souches bactériennes, qu'elles soient à Gram positif ou à Gram négatif. Cette propriété est principalement attribuée à sa richesse en flavonoïdes, des métabolites secondaires bien connus pour leurs effets antimicrobiens (**Hammoudi et al., 2012**).

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits (méthanolique et éthanolique) d'*Equisetum telmateia* a révélé un effet inhibiteur variable — allant d'un fort voire faible — chez les bactéries à Gram négatif et à Gram positif, telles que *K. pneumoniae* ATCC 700603, *E. coli* 7, *E. coli* 18, *P. aeruginosa* ATCC 27953 et *S. aureus* ATCC 29213. Parmi les extraits testés, l'extrait éthanolique s'est révélé le plus efficace, en particulier contre les souches de bactéries à Gram positif, telles que *S. aureus* ATCC 29213, avec une zone d'inhibition atteignant 19,66 mm. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Yeganegi et al., (2018)**, qui ont montré que l'extrait éthanolique des parties aériennes d'*Equisetum telmateia*, collectées à Chenaran, dans la province du **Khorasan-Razavi**, en Iran était généralement plus efficace contre les bactéries à Gram positif, en particulier *S. aureus*, comparativement aux bactéries à Gram négatif. Par ailleurs, **Radojević et al., (2012)** ont rapporté que l'extrait méthanolique d'*E. telmateia* récoltée dans la région de Kragujevac, en Serbie, a montré une activité antimicrobienne significative à l'égard des bactéries à Gram négatif tandis que l'extrait ne présentait aucune activité à l'égard de *S. aureus*. Cette différence de résultat peut être due au mode d'action des extraits végétaux qui dépend de plusieurs facteurs, notamment le type de micro-organisme ciblé, la composition chimique de l'extrait ainsi que sa concentration. En général, les bactéries à Gram négatif sont plus résistantes que celles à Gram positif, principalement en raison de la structure particulière de leur membrane externe (**Poole, 2021**). En effet, ces bactéries possèdent une paroi cellulaire rigide dont le principal constituant est le lipopolysaccharide, ce qui leur confère une résistance accrue face aux agents antibactériens. À l'inverse, les bactéries à Gram positif ont une paroi cellulaire homogène, dépourvue de phospholipides. Par ailleurs, les extraits végétaux étant généralement hydrophobes, leur diffusion à l'intérieur des bactéries à Gram négatif est limitée en raison de la présence, dans la membrane externe de ces bactéries, de porines hydrophiles qui entravent le passage des composés extraits (**Sharifi-Rad et al., 2022**)

Par ailleurs, l'absence d'activité antimicrobienne observée ne traduit pas forcément une absence de composés bioactifs dans la plante, ni un manque d'efficacité antimicrobienne. En

réalité, divers éléments peuvent affecter l'efficacité de l'extraction des métabolites secondaires, tels que la nature du solvant utilisé, la durée d'extraction ou encore les conditions d'utilisation de l'évaporateur rotatif (**Hanoun et al., 2023**).

2.2. Screening phytochimique

Les tests phytochimiques réalisés ont révélé que *Teucrium polium* L. est particulièrement riche en divers métabolites secondaires, notamment en polyphénols, flavonoïdes, saponines, tanins, terpénoïdes, alcaloïdes, composés réducteurs, stéroïdes, triterpènes et coumarines. En revanche, la présence de quinones libres et d'antraquinones n'a pas été détectée. Ces résultats corroborent en grande partie les données rapportées par **Alghazeer et al. (2021)** ainsi que **Hammoudi et al. (2012)**, notamment en ce qui concerne les polyphénols, flavonoïdes, tanins et terpénoïdes, bien que des divergences apparaissent quant à l'absence de quinones libres et d'antraquinones.

De manière similaire, l'analyse phytochimique d'*Equisetum telmateia* a révélé une composition riche en composés phénoliques et en flavonoïdes. Ces observations sont en accord avec les travaux de **Yeganegi et al. (2018)** et **Correia et al. (2005)**, qui ont caractérisé cette espèce par chromatographie liquide à haute performance (CLHP).

La richesse de ces deux plantes en métabolites secondaires variés est particulièrement significative au regard de leurs potentielles activités biologiques. En effet, de nombreux métabolites, tels que les flavonoïdes et les polyphénols, sont connus pour leur large spectre d'action antimicrobienne. Les flavonoïdes, par exemple, exercent leur activité antibactérienne en ciblant simultanément plusieurs composants cellulaires. Ils peuvent interagir avec les protéines par des liaisons hydrogène, des interactions hydrophobes ou encore des liaisons covalentes, entraînant l'inactivation de protéines membranaires, d'adhésines ou d'enzymes microbiennes. Par ailleurs, les flavonoïdes lipophiles peuvent perturber l'intégrité des membranes cellulaires. De leur côté, les polyphénols présentent également des propriétés antimicrobiennes notables, incluant des effets antibactériens, antifongiques et antiviraux. (**Hanoun et al., 2023**).

Ainsi, la diversité chimique observée chez *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia* confère à ces espèces un intérêt scientifique considérable, justifiant l'attention soutenue qu'elles suscitent dans la littérature, comme l'ont déjà souligné **Naghbi et al. (2005)**.

2.3. Dosage spectrophotométrique de flavonoïdes et polyphénols

Dans le cadre de cette étude, une analyse quantitative des extraits méthanolique et éthanolique de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia* a été réalisée afin de déterminer leur teneur totale en composés phénoliques et flavonoïdes, en utilisant des méthodes de dosage spectrophotométrique.

Les résultats ont montré que les polyphénols sont présents dans les deux extraits de *T. polium*, avec des concentrations de $437,66 \pm 41,28$ mg EAG/g Es pour l'extrait méthanolique, et de $350,66 \pm 18,00$ mg EAG/g Es pour l'extrait éthanolique. Concernant les flavonoïdes, les teneurs étaient de $158,66 \pm 4,16$ mg EC/g Es pour l'extrait méthanolique, et de $217,66 \pm 7,02$ mg EC/g Es pour l'extrait éthanolique. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux rapportés par **Hammoudi et al., (2012)**, qui ont montré que l'extrait d'acétate d'éthyle de la partie aérienne de *T. polium*, collectée à Tamanrasset (région du Hoggar, sud de l'Algérie), contenait une teneur en polyphénols totaux de $89,05 \pm 0,50$ mg EAG/g et une teneur en flavonoïdes de $0,45 \pm 0,001$ mg EQ/g.

En ce qui concerne *E. telmateia*, les extraits (méthanolique et éthanolique) présentaient des teneurs en polyphénols de $411 \pm 35,67$ mg EAG/g Es et de $176,33 \pm 3,05$ mg EAG/g Es respectivement. Pour les flavonoïdes, les concentrations enregistrées étaient de $98,66 \pm 13,31$ mg EC/g Es pour l'extrait méthanolique, et de $219 \pm 17,08$ mg EC/g Es pour l'extrait éthanolique. Ces données sont en accord partiel avec celles obtenues par **Radojević et al., (2012)**, qui ont rapporté une teneur en composés phénoliques totaux de $262,7 \pm 1,0$ mg EAG/g Es et une teneur en flavonoïdes de $112,6 \pm 1,3$ mg EQ/g Es dans l'extrait méthanolique de *E. telmateia* récoltée dans la région de Kragujevac, en Serbie.

2.4. Activité anti-oxydante

Les résultats de l'évaluation du pouvoir antioxydant ont révélé que les extraits (méthanolique et éthanolique) de *Teucrium polium* présentaient des valeurs d'IC₅₀ de $0,07596 \pm 0,079$ mg/ml et $0,231 \pm 0,303$ mg/ml respectivement. Ces valeurs traduisent une activité antioxydante plus élevée que celle rapportée par **Khaled-Khodja et al. (2014)**, qui était de $0,095 \pm 0,001$ mg/ml, soulignant ainsi la forte capacité antioxydante des extraits analysés. De plus, l'IC₅₀ de notre extrait méthanolique de *T. polium* est légèrement inférieure à celle rapportée par **Messaoudi (2022)** pour la même espèce ($0,0868$ mg/ml), ce qui reflète la variabilité de l'activité antioxydante en fonction des conditions d'extraction et de l'origine géographique.

En ce qui concerne *Equisetum telmateia*, nos résultats montrent des valeurs d'IC₅₀ inférieures à celles obtenues par **Yeganegi et al. (2018)**, qui ont indiqué une valeur d'IC₅₀ de 0,096 ± 0,0003 mg/ml pour l'extrait éthanolique de cette plante. En revanche, nos valeurs restent supérieures à celles rapportées par **Taskin (2020)**, qui a analysé l'extrait méthanolique d'*E. telmateia* récolté en Turquie, avec une IC₅₀ de 12,92 µg/ml, indiquant une activité antioxydante encore plus marquée dans notre étude.

Cette activité antioxydante notable est principalement liée à la richesse des extraits en métabolites secondaires, notamment les polyphénols et les flavonoïdes, reconnus pour leurs puissantes propriétés antioxydantes. En effet, l'efficacité antioxydante des extraits végétaux dépend essentiellement de la quantité de polyphénols accumulés tout au long du cycle végétatif de la plante (**Ouzid et al., 2018**).

Conclusion

Conclusion et perspective

Actuellement, plusieurs plantes médicinales présentent des propriétés biologiques exceptionnelles qui sont utilisées dans divers domaines tels que l'industrie, la médecine et la pharmacie. Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé une analyse phytochimique, ainsi qu'un dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux de deux plantes médicinales : *Teucrium polium* et *Equisetum telmateia*. Nous avons également évalué leurs activité antibactérienne et antioxydante

L'analyse phytochimique a révélé la présence de composés phénoliques, de flavonoïdes, de tanins et de terpénoïdes dans les extraits des deux plantes, tandis que les anthraquinones étaient absentes. D'autres composés chimiques ont été détectés de manière variable selon l'espèce végétale et le type d'extrait. Les tests d'activité antibactérienne qui ont été effectués *in vitro* sur les extraits méthanoliques et éthanoliques des deux plantes, à l'égard de sept souches bactériennes Gram-positives et Gram-négatives ont montré que les extraits d'*Equisetum telmateia* avaient une activité inhibitrice modérée vis-à-vis de six souches bactériennes, tandis que les extraits de *Teucrium polium* ont montré un effet inhibiteur à l'égard des bactéries à Gram positif et Gram négatif. Cependant, la souche *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 a montré une forte sensibilité à tous les extraits, avec une zone d'inhibition maximale enregistrée pour l'extrait éthanolique de *Teucrium polium* ($23,33 \pm 1,52$ mm). De plus nos résultats ont révélé que les extraits (méthanolique et éthanolique) de *Teucrium polium* contenaient des valeurs en polyphénols de $437,66 \pm 41,28$ mg EAG/g Es et de $350,66 \pm 18,00$ mg EAG/g Es respectivement. Les teneurs en flavonoïdes étaient de $158,66 \pm 4,16$ mg EC/g Es pour l'extrait méthanolique et de $217,66 \pm 7,02$ mg EC/g Es pour l'extrait éthanolique. Pour *Equisetum telmateia*, les teneurs en polyphénols étaient de $411 \pm 35,67$ mg EAG/g Es pour l'extrait méthanolique et de $176,33 \pm 3,05$ mg EAG/g Es pour l'éthanolique, tandis que les flavonoïdes étaient présents à des concentrations respectives de $98,66 \pm 13,31$ mg EC/g Es et $219 \pm 17,08$ mg EC/g Es. L'évaluation de l'activité antioxydante a révélé une forte capacité antioxydante pour tous les extraits, avec des valeurs d'IC₅₀ comprises entre 0,231 et 0,7596 mg/ml, en comparaison avec la quercétine. L'extrait éthanolique d'*E. telmateia* a présenté la meilleure activité antioxydante.

Conclusion

De ce fait, les extraits méthanoliques et éthanoliques d'*Equisetum telmateia* et *Teucrium polium* contiennent divers composés bioactifs susceptibles d'expliquer leurs effets thérapeutiques contre les maladies, notamment grâce à leurs propriétés antibactériennes et antioxydantes. Ces découvertes suggèrent un fort potentiel pour leur utilisation dans les secteurs médical et thérapeutique car elles pourraient donc constituer une alternative à l'utilisation excessive des antibiotiques en thérapie pour traiter les infections causées par des germes multirésistants et pour traiter les maladies liées au stress oxydatif.

Ces résultats préliminaires nécessitent néanmoins une validation par des études complémentaires, en particulier :

- Mener des études cinétiques sur la croissance des bactéries
- Réaliser des tests de synergie avec les antibiotiques fréquemment utilisés
- Évaluer la cytotoxicité des extraits sur des lignées cellulaires humaines afin d'en déterminer la sélectivité
- Approfondir l'analyse phytochimique en purifiant, identifiant et caractérisant les composés actifs à l'aide de techniques chromatographiques et spectroscopiques avancées
- Identifier les molécules responsables des effets biologiques observés et élucider leur structure chimique après purification
- Optimiser les conditions d'extraction des métabolites secondaires en explorant diverses méthodes et en analysant les résultats à l'aide de techniques statistiques adaptées
- Élargir l'éventail des évaluations biologiques en explorant d'autres activités, telles que les ".effets anti-inflammatoires et anti-enzymatiques

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

Abbas, H. (2019). *Analyse de la diversité chimique de Teucrium polium geyrii Maire du Hoggar par les composés phénoliques et propriétés médicinales* [Thèse de doctorat]. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.

Addab, N., Fetni, S., Hamlaoui, F., Zerguine, A., & Mahloul, K. (2020). Évaluation comparative de l'activité anti-oxydante des extraits éthanoliques des feuilles d'Olea europaea L. de l'Est Algérien. *Journal de la Faculté de Médecine de l'Est*, **publication en ligne avancée**.

Ait Chaouche, F. S., Mouhouche, F., & Hazzit, M. (2018). Antioxidant capacity and total phenol and flavonoid contents of *Teucrium polium* L. grown in Algeria. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, **11**(3), 247–256.

Alghazeer, R., Elgahmasi, S., Abdullah, E., Ahtiwesh, O., Althaluti, E., Shamlan, G., Alansari, W. S., & Eskandrani, A. A. (2021). Elucidation of nutritional, phytochemical and pharmacological activities of *Teucrium polium* L. grown in Libya. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **31**(5), 1439–1452.

Amini, R. (2010). *Analyse chimique et activité bactérienne de trois plantes médicinales antituberculeuses à Kisangani* (Monographie inédite). Faculté des Sciences, Université de Kisangani (UNIKIS).

Amjad, H. (2005). *Étude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen* [Thèse de magistère]. Université de Tlemcen.

Andary, C., Rascol, J. P., Roussel, J. L., & Privat, G. (1988). Les esters de l'acide caféique dans la chimiotaxinomie des *Teucrium* de la section *Polium* (Lamiaceae). *Canadian Journal of Botany*, **66**(5), 1007–1012.

Anderson, C. M., Hallberg, A., & Högberg, T. (1996). Advances in the development of pharmaceutical antioxidants. *Advances in Drug Research*, **28**, 65–180.

Références bibliographiques

Aouachria, S., Boumerfeg, S., Benslama, A., Benbacha, F., Guemmerz, T., Khennouf, S., Arara, L., & Baghiani, A. (2017). Acute, sub-acute toxicity and antioxidant activities (in vitro and in vivo) of *Reichardia picroides* crude extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 208, 105–116.

-B-

Bahorun, P. (1997). Substances naturelles actives, la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentiel (pp. 83–85). Food and Agricultural Research Council.

Bailiche, M., & Bailiche, H. (2021). *Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans la région d'Ain Témouchent en Algérie* [Mémoire]. Université de Témouchent.

Bashir, U., Qadir, N., & Wani, I. A. (2022). Saponins. In *Handbook of plant and animal toxins in food* (1st ed., p. 14). CRC Press.

Bendif, H. (2017). *Caractérisation phytochimique et détermination des activités biologiques in vitro des extraits actifs de quelques Lamiaceae : Ajuga iva (L.), Teucrium polium L., Thymus munbyanus subsp. (Boiss. & Reut.) Greuter & Burdet, et Rosmarinus eriocalyx Jord. & Fourr.* [Thèse de doctorat]. École Normale Supérieure de Kouba-Alger.

Boeing, T., da Silva, L. M., Tafarelo Moreno, K. G., de Souza, P., & Gasparotto Junior, A. (2021). Phytochemistry and pharmacology of the genus *Equisetum (Equisetaceae)*: A narrative review of the species with therapeutic potential for kidney diseases. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, Article 6658434, 17 pages.

Boizot, N., & Charpentier, J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques*, Numéro spécial 200679. INRA – Laboratoire d'Analyses Biochimiques, Olivet, France.

Bonnier, G. (1990). *La grande flore en couleurs* (4 tomes). Belin.

Bouaziz, M., & Sayadi, S. (2005). Isolation and evaluation of antioxidants from olive leaves of Tunisia. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(8), 497–504.

Références bibliographiques

Boullard, B. (2003). *Plantes médicinales du monde : réalités et croyances* (pp. 1092–1107). Paris : Éditions Boubée.

Bouras, M. (2018). *Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques* [Thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie.

Bourgaud, F., Hehn, A., Larbat, R., Doerper, S., Gontier, E., Kellner, S., & Matern, U. (2006). Biosynthesis of coumarins in plants: A major pathway still to be unraveled for cytochrome P450 enzymes. *Phytochemistry Reviews*, 5(3), 293–308.

Bown, D. (1995). *Encyclopedia of herbs and their uses*. Dorling Kindersley.

Bruneton, J. (1993). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (2e éd., 915 p). Paris : Tec & Doc Lavoisier.

Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3e éd., pp. 207–211). Paris : Tec & Doc Lavoisier.

-C-

Celikel, N., & Kavas, G. (2008). Antimicrobial properties of some essential oils against some pathogenic microorganisms. *Czech Journal of Food Sciences*, 26, 74–81.

Chabane, S. (2021). *Caractérisation, toxicité et activités biologiques de *Teucrium polium** [Thèse de doctorat]. Université Mohamed Boudiaf–M'Sila.

Chabrier, J. Y. (2010). *Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie* [Diplôme d'État de docteur en pharmacie]. Université Henri Poincaré – Nancy 1.

Christodoulakis, N. S., Kogia, D., Mavroei, D., & Fasseas, C. (2010). Anatomical and histochemical investigation of the leaf of *Teucrium polium*, a pharmaceutical sub-shrub of the Greek phrygic formations. *Journal of Biological Research - Thessaloniki*, 14, 199–209.

Références bibliographiques

Cores, Á., Carmona-Zafra, N., Clerigué, J., Villacampa, M., & Menéndez, J. C. (2023). Quinones as neuroprotective agents. *Antioxidants*. Advance online publication.

Correia, H., González-Paramás, A., Amaral, M. T., Santos-Buelga, C., & Batista, M. T. (2005). Characterisation of polyphenols by HPLC-PAD-ESI/MS and antioxidant activity in *Equisetum telmateia*. *Phytochemical Analysis*, 16(6), 380–387.

Couplan, F. (2012). *Les plantes et leur nom : Histoires insolites*. Éditions Quae.

-D-

Dashbaldan, S., Rogowska, E. T., Paçzkowski, C., & Szakiel, A. (2021). Répartition des triterpénoïdes et des stéroïdes dans le fruit accessoire en développement du rosier rugosa (*Rosa rugosa* Thunb.). *Molecules*, 26(4), Article 1032.

Debaisieux, F., & Polese, J. (2009). *Plantes médicinales* (pp. 4–5, 8–9). Éditions Debaisieux.

Decloitre, F. (1993). Impact des facteurs alimentaires sur les mécanismes de la cancérogénèse : Bases d'une prévention des cancers par l'alimentation. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 28(2), 85–95.

Dehghani, F., Khozani, T. T., Panjehshahin, M. R., & Karbalaedoost, S. (2005). Effect of *Teucrium polium* on histology and histochemistry in rat stomach. *Indian Journal of Gastroenterology*, 24(3), 126–127.

Delaveau, P. (1987). *Les épices : Histoire, description, et usage des différents épices, aromates et condiments*. Albin Michel.

Delille, L. (2007). *Les plantes médicinales d'Algérie*. Éditions Berti.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010–3014.

Références bibliographiques

Djabou, N., Muselli, A., Allali, H., Dib, M., Tabti, B., Varesi, L., & Costa, J. (2012). Chemical and genetic diversity of two Mediterranean subspecies of *Teucrium polium* L. *Phytochemistry*, 78, 51–62.

Dorman, H. J. D. (2000). Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oil. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308–316.

Dostál, J. (1984). *Equisetum* L. In G. Hegi (Ed.), *Illustrierte Flora von Mitteleuropa* (Band 1, Pteridophyta, Teil 1, pp. 55–79). Berlin–Hamburg: Verlag Paul Parey.

Dridi, A. (2018). *Étude phytochimique et activité biologique de deux espèces : Teucrium polium L. et Pituranthos chloranthus Coss. et Dur.* [Thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar-Annaba.

Dröge, W. (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 82(1), 47–95.

Dutertre, J. (2011). *Enquête prospective au sein de la population consultant dans les cabinets de médecine générale sur l'île de la Réunion : À propos des plantes médicinales, utilisation, effets, innocuité et lien avec le médecin généraliste* [Thèse de doctorat en médecine]. Université Bordeaux 2 – Victor Segalen, U.F.R. des sciences médicales.

-E-

Eloff, J. N. (1998). Which extractant should be used for the screening and isolation of antimicrobial components from plants? *Journal of Ethnopharmacology*, 60(1), 1–8.

Esmail, D., Hossein, M., Seyyed, M., & Sayed, N. (2010). Antimicrobial properties of *Teucrium polium* against some clinical pathogens. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3(2), 124–127.

-F-

Références bibliographiques

Fettah, A. (2019). *Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique (antioxydante, antibactérienne) des extraits de la plante Teucrium polium L. sous-espèce thymoides de la région Beni Souik, Biskra* [Thèse de doctorat]. Université Mohamed Khider Biskra.

Franzyk, H., Jensen, S. R., & Rasmussen, J. H. (1998). Synthesis of antirrhinolide, a new lactone from *Antirrhinum majus*. *Journal of Organic Chemistry*, 63(12), 5237–5240.

-G-

Gharaibeh, M., Hamzeh, H., & Salhab, A. S. (1989). Hypoglycemic effects of *Teucrium polium*. *Journal of Ethnopharmacology*, 25(1), 93–99.

Ghauri, M. A., Liaqat, I., Ali, R., Uzma, H., Naveel, A., & Aqeel, J. (2021). In vivo anti-inflammatory, antipyretic, analgesic activity and in vitro anti-proliferative activity of aqueous methanolic extract of *Euphorbia granulata* Forssk. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(34).

Gholizadeh Nasari, F., Rassouli, M. B., Nikravesh, M. R., & Moghimi, A. (2009). Neuroprotective effects of *Equisetum telmateia* in rat. *Journal of Cell and Molecular Research*, 1(1), 29–34.

Gudzinskas, Z., & Rasimavičius, M. (2017). Distribution, state and conservation of *Equisetum telmateia* in Lithuania. *Botanica Lithuanica*, 23(1), 17–32.

-H-

Halliwell, B. (1994). Free radicals and antioxidants: A personal view. *Nutrition Reviews*, 52(8), 253–265.

Hamel, T., Sadou, S., Seridi, R., & Boukhdir, R. (2021). Pratique traditionnelle d'utilisation des plantes médicinales dans la population de la péninsule de l'Edough (nord-est algérien). *Ethnopharmacologia*, 59, 72.

Références bibliographiques

- Hammer, K. A. (1999).** Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6), 985–990.
- Hamoudi, R., Hadj Mohamed, M., Kourdache, M., & Ramdane, L. (2012).** Activité antibactérienne des extraits phénoliques de la plante *Teucrium polium* geyri. *African Journal of Social Sciences*, 5(2), 49–55.
- Hanoun, S., Agaba, I., Agoun, I., Ahmed-Gaid, K., Mellal, H., Chenna, H., & Aroua, K. (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. *Journal Name*, 7, 2935–2939.
- Hanoun, S., Belkoum, H., Ouchene, W., Gaid, K. A., Chenna, H., Mellal, H., & Aroua, K. (2025).** Total phenol content, total flavonoid content and, *in vitro*, antibacterial activity of *Polygonum aviculare* and *Zygophyllum album* extracts from Algeria against multidrug-resistant Gram-negative bacteria (MDR-GNB). *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 18(1), 339–345.
- Harborne, J. (1998).** *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis* (3rd ed.). Chapman and Hall.
- Harborne, J. B. (1973).** Phenolic compounds. In *Phytochemical methods* (pp. 33–88). Springer.
- Hartmann, T. (2007).** From waste products to ecochemicals: Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68(22–24), 2831–2846.
- Hauke, R. L. (1993).** Equisetaceae. In *Flora of North America North of Mexico* (Vol. 2, pp. 76–84). Oxford University Press.
- Hertog, M. G. (1996).** Epidemiological evidence on potential health properties of flavonoids. *Proceedings of the Nutrition Society*, 55(1B), 385–397.

Références bibliographiques

Huh, M. K., & Han, M. D. (2015). Inhibitory effect of hyaluronidase and DPPH radical scavenging activity using extraction of *Equisetum arvense*. *European Journal of Advanced Research in Biological and Life Sciences*, 3(2), 2056–5984.

Husby, C. (2013). Biology and functional ecology of *Equisetum* with emphasis on the giant horsetails. *Botanical Review*, 79(3), 147–177.

-I-

Igor Passi L B. (2002). *Etude des activités biologiques de Fagara zanthoxylo des Lam. (Rutaceae)*. Thèse Pharmacie, Bamako.

- k –

Kabouche, A., Kabouche, Z., Ghannadi, A., & Sajjadi, S. E. (2007). Analysis of the essential oil of *Teucrium polium* ssp. *aurasiacum* from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 19(1), 44–46.

Kaileh, M., Van den Berghe, W., Boone, E., Essawi, T., & Haegeman, G. (2007). Screening of indigenous Palestinian medicinal plants for potential anti-inflammatory and cytotoxic activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 113(3), 510–516.

Kashani, A. H., Hoseini, E. S., Nikzad, H., & Aarabi, M. H. (2012). Pharmacological properties of medicinal herbs with a focus on secondary metabolites. *Life Sciences*, 9(1), 509–520.

Khaled-Khodja, N., Boulekbache-Makhlouf, L., & Madani, K. (2014). Phytochemical screening of antioxidant and antibacterial activities of methanolic extracts of some Lamiaceae. *Industrial Crops and Products*, 61, 41–48.

Khleifat, K., Shakhanbeh, J., & Tarawneh, K. (2001). The chronic effects of *Teucrium polium* on some blood parameters and histopathology of liver and kidney in the rat. *Turkish Journal of Biology*, 26, 65–71.

Références bibliographiques

Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18(2), 2328–2375.

Khoshnood-Mansoorkhani, M. J., Moein, M. R., & Oveisi, N. (2010). Anticonvulsant activity of *Teucrium polium* against seizure induced by PTZ and MES in mice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research (IJPR)*, 9(4), 395–401.

Klein, E. J. (1897). *Die Flora der Heimat (sowie die hauptsächlichsten bei uns kultivierten fremden Pflanzenarten)*. Verlag von Math. Kraus.

Koltz, J. P. J. (1883). *Prodrome de la flore du Grand-Duché de Luxembourg. Seconde partie, 1er volume : Plantes vasculaires. Muscinées*. [Luxembourg, Paris, Berlin] : s.n.

Koné, D. (2009). *Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes – Extraction, identification d’alcaloïdes – Caractérisation, quantification de polyphénols : Étude de leur activité antioxydante* [Thèse de doctorat]. Université de Bamako, en cotutelle avec l’Université Paul Verlaine de Metz.

Krache, A. (2015). *Évaluation des effets toxiques des extraits méthanoliques de *Tamus communis* L. et *Teucrium polium* L. sur des rats blancs albinos Wistar* [Mémoire de master]. Université non spécifiée.

Krache, I., Boussoualim, N., Ouhida, S., Amraoui, N., Baghiani, A., & Arrar, L. (2017). Acute and chronic effects of methanolic extract of *Teucrium polium* on blood parameters and histopathology of liver and kidney in female rats. *Asian Journal of Research in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 2(3), 1–11.

Krippel, Y. (2023). Les prêles (*Equisetaceae*) au Luxembourg – Notes chorologiques et liste rouge. *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois*, 125, 3–16.

Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2011). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing*, 89(3), 217–233.

Références bibliographiques

Kromhout, D. (2001). Epidemiology of cardiovascular diseases in Europe. *Public Health Nutrition*, 4(2B), 441–457.

Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, Article ID 162750.

-L-

Lahmadi, S., Zeguerrou, R., & Guesmia, H. (2013). *La flore spontanée de la plaine d'El-Outaya (Ziban)* (p. 38). C.R.S.T.R.A.

Lazli, A., Beldi, M., Ghouri, L., & Nouri, N. (2018). *Étude ethnobotanique et inventaire des plantes médicinales dans la région de Bougous (Parc National d'El Kala, Nord-est algérien)* (23 p.). Laboratoire d'écologie fonctionnelle et évolutive, Université Chadli Bendjedid d'El Tarf, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

-M-

Ma, W. G., Tan, R. X., Fuzzati, N., Li, Q. S., Wolfender, J. L., & Hostettmann, K. (1997). Naturally occurring and synthetic polyene glycosides. *Phytochemistry*, 45(2), 411–415.

Male, D. (2005). *Immunologie* (4e éd., pp. 79, 81, 83). De Boeck et Larcier.

Malki, S., & Yahia, A. L. (2014). Evaluation of diuretic activity from *Teucrium polium* L. capitatum extracts (Lamiaceae) in rats. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research (IJPSR)*, 5(4).

Marc, F., Brisbarre, F., Davin, A., Baccaunaud, M., & Ferrand, C. (2004). Évaluation du pouvoir antioxydant (TEAC) d'extraits de végétaux en vue d'utilisations alimentaires. *Sciences des Aliments*, 24(4), 399–414.

Merouane, A., Noui, A., Ali, K. N. B., & Saadi, A. (2014). Activité antioxydante des composés phénoliques d'huile d'olive extraite par méthode traditionnelle. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(4), 1865–1870.

Références bibliographiques

Messaoudi, M. (2022). *Mise en évidence des activités biologiques et des études minérales de certaines plantes médicinales cultivées en Algérie : Teucrium polium L., Matricaria chamomilla L. et Mentha pulegium L.* [Thèse de doctorat]. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, Département de chimie organique appliquée.

Mohammedi, Z. (2013). *Étude phytochimique et activités biologiques de quelques plantes médicinales de la région nord et sud-ouest de l'Algérie* [Thèse de doctorat en biologie]. Université de Tlemcen, Algérie.

Mors, W. B., Rizzini, C. T., & Pereira, N. A. (2000). *Medicinal plants of Brazil*. Reference Publishing Inc.

Mouas, Y., Benrebiha, F. Z., & Chaouia, C. H. (2017). Évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique du *Rosmarinus officinalis* L. *Revue Agrobiologia*, 7(1), 363–370.

Movahedi, A., Basir, R., Rahmat, A., Charaffedine, M., & Othman, F. (2014). Remarkable anticancer activity of *Teucrium polium* on hepatocellular carcinogenic rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, Article ID 726724.

-N-

Naghibi, F., Mosaddegh, M., Mohammadi, M. S., & Ghorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: From ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2, 63–79.

Neumann, M., Wagner, S., Nöske, R., Tiersch, B., & Strauch, P. (2010). Morphology and structure of biomorphous silica isolated from *Equisetum hyemale* and *Equisetum telmateia*. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 65(11–12), 1113–1120.

Niazmand, S., Erfanian Ahmadpoor, M., Moosavian, M., & Derakhshan, M. (2008). The positive inotropic and chronotropic effects of *Teucrium polium* L. extract on guinea pig isolated heart. *Pharmacologyonline*, 2, 588–594.

Références bibliographiques

Nicolas, M., & Daniel, C. (1998). *Activités technologiques en microbiologie : Techniques de base et méthodologie* (p. 152). CRDP, Bordeaux.

-O-

Oguntibeju, O. O. (2018). Medicinal plants with anti-inflammatory activities from selected countries and regions of Africa. *Journal of Inflammation Research*, *11*, 307–317.

Organisation mondiale de la Santé. (1998). *Réglementation des médicaments à base de plantes : La situation dans le monde* (WHO/TRM/98.1). Genève, Suisse : Organisation mondiale de la Santé.

Othman, M. B., Salah-Fatnassi, K. B. H., Ncibi, S., Elaissi, A., & Zourgui, L. (2017). Antimicrobial activity of essential oil and aqueous and ethanol extracts of *Teucrium polium* L. subsp. *gabesianum* (LH) from Tunisia. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *23*(4), 723–729.

Ouzid, Y., Smail-Saadoun, N., & Houali, K. (2018). Comparative study of in vitro antioxidant activity of foliar endophytic fungi and leaves extracts of *Peganum harmala* of Dayate Aiat (Laghouat, Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, *10*(1), 10-1.

-P-

Pasdeloup Grenez, E. (2019). *Phytothérapie - exemples de pathologies courantes à l'officine : Fatigue, insomnie, stress, constipation, rhume, douleur et inflammation* [Thèse de doctorat en pharmacie]. Université de Lille, France.

Patadiya, N. (2020). Steroids: Classification, nomenclature and stereochemistry. *International Journal of Universal Pharmacy and Bio Sciences*, *9*(5), 28–37.

Pelt, J.-M. (1980). *Les drogues : Leur histoire, leurs effets*. Éditions Doin.

Pincemail, J., Meurisse, M., Imet, R. L., & Defraigne, J. O. (1999). Espèces oxygénées activées, antioxydants et cancer. *Vaisseaux, Cœur, Poumons*, *4*(4).

Références bibliographiques

Poole, K. E. (2001). Multidrug resistance in Gram-negative bacteria. *Current Opinion in Microbiology*, 4(5), 500–508.

Prodea, A., Mioc, A., Banciu, C., Trandafirescu, C., Milan, A., Racoviceanu, R., Ghiulai, R., Mioc, M., & Soica, C. (2022). The role of cyclodextrins in the design and development of triterpene-based therapeutic agents. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 736.

Pteridophyte Phylogeny Group (PPG I). (2016). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, 54(6), 563–603.

-Q-

Quézel, P., & Santa, S. (1962–1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* (Vols. 1–2, p. 1170). Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

-R-

Radojević, I. D., Stanković, M. S., Stefanović, O. D., Topuzović, M. D., Ćomić, L. R., & Ostojić, A. M. (2012). Great horsetail (*Equisetum telmateia* Ehrh.): Active substances content and biological effects. *EXCLI Journal*, 11, 59–67.

Riboli, E., Decloitre, F., & Collet-Ribbing, C. (1996). *Alimentation et cancer : Évaluation des données scientifiques*. Lavoisier.

Rosine, C., & Momo, D. (2009). Évaluation de l'activité antidermatophytique des extraits au méthanol et fractions d'*Acalypha ma hirtum* (Melastomataceae) [Mémoire de Master en biochimie clinique et pharmacologie]. Université de Dschang.

-S-

Sabet, Z., Roghani, M., Najafi, M., & Maghsoudi, Z. (2013). Antidiabetic effect of *Teucrium polium* aqueous extract in multiple low-dose streptozotocin-induced model of type 1 diabetes in rat. *Basic and Clinical Pathophysiology*, 1(2), 34–38.

Références bibliographiques

Schauenberg, P., & Paris, F. (2013). *Guide des plantes médicinales : Analyse, description et utilisation de 400 plantes* (pp. 15–16). Delachaux et Niestlé.

Sharifi-Rad, M., Pohl, P., Epifano, F., Zengin, G., Jaradat, N., & Messaoudi, M. (2022). *Teucrium polium* (L.): Phytochemical screening and biological activities at different phenological stages. *Molecules*, 27(1), Article 123.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.

Sofowera. (2010). *Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique*. Paris, France : Karthala, Économie et Développement.

-T-

Taşkın, T., Yılmaz, B. N., & Doğan, A. (2020). Antioxidant, enzyme inhibitory and calcium oxalate anti-crystallization activities of *Equisetum telmateia* Ehrh. *International Journal of Secondary Metabolite*, 7(3), 181–191.

Tenscher, E., Anton, R., & Lobstein, A. (2005). *Plantes aromatiques : Épices, aromates, condiments et huiles essentielles* (pp. 3–50, 121–124). Éd. Tec & Doc.

Toty, A. A., Guessennd, N., Bahi, C., Kra, A. M., Otokore, D. A., & Dosso, M. (2013). Évaluation in vitro de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de l'écorce de tronc de *Harungana madagascariensis* sur la croissance de souches multi-résistantes. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 82, 12–21.

-V-

Valnet, J. (1983). *Phytothérapie, traitement des maladies par les plantes* (pp. 500–512). Maloine SA.

Verma, S. (2016). Medicinal plants with anti-inflammatory activity. *Journal of Phytopharmacology*, 5(4), 157–159.

Références bibliographiques

-W-

Wang, J. (2002). Effects of anthocyanins and other phenolic compounds on the production of tumor necrosis factor- α in LPS/IFN- γ -activated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 4183–4189.

-Y-

Yano, Y., Satomi, M., & Oikawa, H. (2006). Antimicrobial effect of spices and herbs on *Vibrio parahaemolyticus*. *International Journal of Food Microbiology*, 111(1), 6–11.

Yeganegi, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Asili, J., Behbahani, B. A., & Beigbabaei, A. (2018). *Equisetum telmateia* extracts: Chemical compositions, antioxidant activity and antimicrobial effect on the growth of some pathogenic strain causing poisoning and infection. *Microbial Pathogenesis*, 116, 62–67.

-Z-

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555–559.

Résumé

Cette étude vise à évaluer la composition phytochimique ainsi que les activités antibactériennes et antioxydantes des extraits méthanoliques et éthanoliques des parties aériennes de *Teucrium polium* et d'*Equisetum telmateia*, récoltées dans la wilaya de Khenchela (Algérie). Les extraits qui ont été obtenus par macération, puis soumis à un criblage phytochimique, ont révélé la présence de métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, composés phénoliques, tanins et terpénoïdes. L'analyse quantitative a montré une richesse notable en polyphénols et flavonoïdes. Pour *T. polium*, l'extrait méthanolique contenait une teneur en polyphénols de $437,66 \pm 41,28$ mg EAG/g et l'extrait éthanolique une teneur de $350,66 \pm 18,00$ mg EAG/g, tandis que les teneurs en flavonoïdes étaient $158,66 \pm 4,16$ mg EC/g pour l'extrait méthanolique et $217,66 \pm 7,02$ mg EC/g pour l'extrait éthanolique. Pour *E. telmateia*, les deux extraits méthanolique et éthanolique contenaient respectivement $411 \pm 35,67$ mg EAG/g et $176,33 \pm 3,05$ mg EAG/g de polyphénols, ainsi que $98,66 \pm 13,31$ mg EC/g et $219 \pm 17,08$ mg EC/g de flavonoïdes. L'activité antibactérienne a été évaluée à deux concentrations (100mg/ml et 200mg/ml) par la méthode de diffusion sur disque vis-à-vis de cinq souches à Gram négatif (*Escherichia coli* 18, *E. coli* 7, *E. coli* ATCC 25422 ; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27953 ; *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603) et deux souches Gram positif (*Staphylococcus saprophyticus* et *Staphylococcus aureus* ATCC 29213). L'extrait éthanolique d'*E. telmateia* a montré une activité antibactérienne à l'égard de toutes les souches testées. Tandis que l'extrait méthanolique présentait un effet inhibiteur modéré voire fort vis-à-vis de toutes les souches excepté la souche *E. coli* 7. En revanche, les extraits (éthanolique et méthanolique) de *T. polium* ont montré une activité antibactérienne variable selon les souches. Une forte inhibition de *S. aureus* ATCC 29213 a été observée avec un diamètre de zone d'inhibition de $23,33 \pm 1,52$ mm pour l'extrait éthanolique et de $21,66 \pm 1,52$ pour l'extrait méthanolique à la concentration de 100mg/ml. L'activité antioxydante, évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH, a révélé une forte capacité antioxydante pour les deux espèces, en particulier pour l'extrait éthanolique de *E. telmateia*, qui a présenté la meilleure activité ($IC_{50} = 0,076 \pm 0,009$ mg/ml) en comparaison avec la quercétine ($0,045 \pm 0,0077$ mg/ml)

Mots clés : Activité antibactérienne, screening phytochimique, Activité Antioxydante, *Teucrium polium*, *Equisetum telmateia*.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التركيب الكيميائي النباتي وكذلك الأنشطة المضادة للبكتيريا والمضادة للأكسدة للمستخلصات الميثانولية والإيثانولية للأجزاء الهوائية من نبات *Teucrium polium* و *Equisetum telmateia*، التي جُمعت من ولاية خنشلة (الجزائر). أظهرت المستخلصات التي تم الحصول عليها بواسطة النقع، والتي خضعت لاحقاً لفحص كيميائي نباتي، وجود مركبات ثانوية مثل الفلافونويدات، والمركبات الفينولية، والتانينات، والتربينويدات. وأظهر التحليل الكمي وجود نسبة ملحوظة من البوليفينولات والفلافونويدات. بالنسبة لـ *T. polium*، يحتوي المستخلص الميثانولي على 437.66 ± 41.28 ملغ مكافئ حمض الغال/غ، والمستخلص الإيثانولي على 350.66 ± 18.00 ملغ مكافئ حمض الغال/غ من البوليفينولات، في حين كانت محتويات الفلافونويدات 158.66 ± 4.16 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ (ميثانولي) و 217.66 ± 7.02 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ (إيثانولي). بالنسبة لـ *E. telmateia*، احتوى المستخلصان الميثانولي والإيثانولي على 411 ± 35.67 ملغ مكافئ حمض الغال/غ و 176.33 ± 3.05 ملغ مكافئ حمض الغال/غ من البوليفينولات على التوالي، بالإضافة إلى 98.66 ± 13.31 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ و 219 ± 17.08 ملغ مكافئ الكاتيشين/غ من الفلافونويدات. تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا عند تركيزين (100 ملغ/مل و 200 ملغ/مل)، باستخدام طريقة الانتشار على الأقراص ضد خمس سلالات من البكتيريا سالبة الجرام *E. coli* 18، *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27953، *Escherichia coli* ATCC 25422، *Escherichia coli* 7 و *Staphylococcus saprophyticus* ATCC 700603 و *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 و سلالتين من البكتيريا موجبة الجرام *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 و *Staphylococcus aureus* ATCC 29213، أظهر المستخلص الإيثانولي لـ *E. telmateia* نشاطاً مضاداً لجميع السلالات المختبرة، في حين أبدى المستخلص الميثانولي تأثيراً مثبطاً متوسطاً إلى قوي ضد جميع السلالات باستثناء السلالة *E. coli* 7. بالمقابل، أظهرت مستخلصات *T. polium* (الإيثانولي و الميثانولي) نشاطاً متغيراً تبعاً للسلالة. وقد لوحظ أقوى تأثير ضد *S. aureus* ATCC 29213، حيث بلغ قطر منطقة التثبيط 23.33 ± 1.52 ملم للمستخلص الإيثانولي. و 21.66 ± 1.52 ملم للمستخلص الميثانولي عند التركيز 100 ملغ/مل. أما النشاط المضاد للأكسدة، الذي تم تقييمه باستخدام اختبار احتجاز الجذر الحر DPPH، فقد أظهر قدرة قوية على مقاومة الأكسدة لكلتا النباتين، وخاصةً المستخلص الإيثانولي لـ *E. telmateia* الذي أظهر أفضل نشاط مضاد للأكسدة $IC_{50} = 0.076 \pm 0.009$ ملغ/مل مقارنة بالكيرسيتين 0.045 ± 0.0077 ملغ/مل.

الكلمات المفتاحية: النشاط المضاد للبكتيريا، الفحص الكيميائي النباتي، النشاط المضاد للأكسدة، *Teucrium polium*،

Equisetum telmateia.