

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

LABORATOIRE DE BIOCHIMIE ET MICROBIOLOGIE APPLIQUEE



LBMA
Laboratoire de Biochimie
et Microbiologie Appliquée

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat

DOMAINE : Science de la Nature et de la Vie

FILIERE : Sciences Biologiques

SPECIALITE : Biologie Moléculaire et Cellulaire

THEME

**Evaluation Comparative des Propriétés
Biologiques et Phytochimiques des Extraits de
deux Plantes Médicinales Appartenant à la
Famille des Amaranthaceae**

Présenté par : Mme AMAMRA Amani

Membres du Jury :

Mme KIRANE GACEMI Djamila (Prof)	Présidente de jury	UBMA
Mme BERREDJEM Hajira (Prof)	Directrice de thèse	UBMA
Mr REGGAMI Yassine (MCA)	Co-Directeur de thèse	Univ. Skikda
Mme SAOUDI Amel (Prof)	Examinatrice	UBMA
Mme BELDI Nadia (MCA)	Examinatrice	Univ. Ouargla

Année universitaire : 2024 / 2025

Remerciements

Je remercie tout d'abord le Bon Dieu tout puissant qui m'a donné la force et le courage pour accomplir ce travail.

J'exprime mes profonds remerciements à Madame le Professeur Hajira BERREDJEM, de l'Université Badji Mokhtar – Annaba. Votre professionnalisme, votre rigueur scientifique, votre disponibilité et votre sens pédagogique ont été des atouts essentiels dans la concrétisation de cette thèse. Votre gentillesse, votre bienveillance et votre humilité font de vous bien plus qu'une enseignante : une véritable référence dont l'exemple inspire le sérieux et la rigueur. Ce travail est le reflet de vos précieux conseils et de votre soutien constant. Que ces quelques lignes soient l'expression de ma profonde reconnaissance, de ma haute considération et de ma sincère gratitude.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à mon co-encadreur, le Docteur Yassine REGGAMI, pour son accompagnement précieux tout au long de ce travail de recherche. Sa disponibilité, ses conseils éclairés et son soutien constant ont été essentiels à la bonne conduite de cette thèse. Je lui suis profondément reconnaissante pour la confiance qu'il m'a accordée et pour son engagement dans ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury, Mme le Professeur Djamilia KIRANE GACEMI, présidente du jury, à Mme le Professeur Amel SAOUDI et au Docteur Nadia BELDI pour le temps précieux qu'elles ont consacré à l'évaluation de ce travail de thèse. Leur expertise, leurs remarques constructives et leurs conseils avisés contribueraient grandement à enrichir cette recherche et à en améliorer la qualité scientifique.

Nous tenons à remercier vivement le CRAPC de Ouargla (Algérie) pour la réalisation des analyses par HPLC.

Mes sincères remerciements et gratitude à tous nos professeurs du département de Biochimie qui ont veillé à notre formation.

Enfin, j'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

*A mes chers parents pour leur amour, leur aide et surtout
leur tendresse infinie.*

A mes deux sœurs Ikram et Nada pour leur soutien.

*A mon Mari Rabhallah Imad qui m'a vraiment soutenu,
ainsi qu'à toute ma belle famille*

*A mes tantes qui m'ont chaleureusement encouragée pour
l'accomplissement de tous mes travaux.*

A mes oncles qui étaient toujours présents à mes côtés.

A mes cousines et cousins et toute ma famille.

A mes adorables amies pour les bons moments qu'on a passé ensemble.

A la mémoire de tonton Bady qui était toujours à mes côtés.

Amani Amamra

Table des Matières

Liste des Figures
Liste des Tableaux
Liste des Abréviations
Résumé
Abstract
ملخص

INTRODUCTION	1
--------------------	---

Chapitre I : REVUE DE LA BIBLIOGRAPHIE

1. <i>Atriplex halimus</i>	4
1.1. Description botanique	4
1.2. Classification botanique	5
1.3. Répartition géographique	6
1.3.1. Répartition dans le monde	6
1.3.2. Répartition en Algérie	6
1.4. Propriétés écologiques	6
1.5. Utilisation traditionnelle	6
2- <i>Haloxylon scoparium</i>	7
2.1. Description botanique	7
2.2. Classification taxonomique	8
2.3. Répartition géographique	9
2.3.1. Répartition dans le monde	9
2.3.2. Répartition en Algérie	9
2.4. Propriétés écologiques	9
2.5. Utilisation traditionnelle	10
3. Composition chimique des plantes	11
3.1. Les polyphénols	12
3.2. Les Flavonoïdes	12
3.3. Les Alcaloïdes	13
3.4. Les Saponines	13
3.5. Les Terpénoïdes	14
3.6. Les Métaux lourds	14
4. Méthodes d'extraction	14
4.1. L'infusion	14
4.2. La décoction	15
4.3. La Macération	15
4.4. Les extraits	15
4.5. La pulvérisation.....	15
5. Mécanismes de résistance aux antibiotiques	15
5.1. Définition	15

5.2. Origine de la résistance bactérienne aux antibiotiques	20
5.3. Les différents types de résistances aux antibiotiques	22
5.3.1. Résistance naturelle ou intrinsèque	22
5.3.2. Résistance acquise	23
5.3.3. Mécanismes génétiques de la résistance acquise	23
5.3.4. Mécanismes biochimiques de la résistance acquise	23
6. Bactéries étudiées	26
6.1. Bactéries à Gram positif	26
6.1.1. <i>Staphylococcus aureus</i>	26
6.1.2. <i>Bacillus spizizenii</i>	28
6.2. Bactéries à Gram négatif	28
6.2.1. <i>Escherichia coli</i>	29
6.2.2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	30
6.2.3. <i>Proteus vulgaris</i>	31
6.2.4. <i>Salmonella spp</i>	32
6.2.5. <i>Citrobacter freundii</i>	33
6.2.6. <i>Serratia marcescens</i> et <i>Serratia odorifera</i>	34
6.2.7. <i>Klebsiella pneumoniae</i>	35
6.2.8. <i>Yersinia entérocolitica</i>	35
6.2.9. <i>Pasteurella pneumotropica</i>	36
6.2.10. <i>Acinetobacter baumannii</i>	37
7. Activités biologique des extraits de plante	38
7.1. Activité antibactérienne	38
7.2. Activité antioxydante	40
7.3. Activité anti-hémolytique	41

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

1. Matériel biologique	45
1.1. Matériel végétal	45
1.2. Souches bactériennes	45
1.4. Prélèvement sanguin	45
2. Méthodes	46
2.1. Préparation des extraits aqueux	46
2.2. Détermination de la composition phytochimique	46
2.2.1. Composition en minéraux	46
2.2.2. Dosage des polyphénols totaux	46
2.2.3. Dosage des flavonoïdes	47
2.2.4. Dosage des tanins	47
2.2.5. Dosage des alcaloïdes	48
2.2.6. Dosage des saponines	48
2.2.7. Dosage des composés phytochimique par HPLC	49
2.3. Méthodes microbiologiques	49
2.3.1. Techniques de prélèvements, d'isolement et d'identification des souches	49

2.3.2. Profil de résistance aux antibiotiques	50
2.3.3. Aromatogramme	51
2.3.4. Détermination de la CMI et de la CMB	52
2.3.5. Cinétique d'action des extraits aqueux des deux plantes	53
2.3.6. Activité anti-Biofilm	53
2.4. Activité antioxydante	54
2.4.1. Le test 2,2-DiPhenyl-1-PicrylHydrazyl (DPPH)	54
2.4.2. Pouvoir réducteur ferrique (FRAP)	55
2.5. Activité anti-hémolytique	56
2.6. Analyse statistique	57

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Rendement de l'extrait aqueux des plantes	58
2. Etude phytochimique	58
2.1. Etude de la composition en minéraux	58
2.2. Composition phytochimique	59
2.3. Dosage des composés phytochimique par HPLC	61
3. Activité antibactérienne	64
3.1. Profil d'antibiogramme	62
3.2. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux des deux plantes	67
3.2.1. Souches de références	67
3.2.2. Souches cliniques	68
3.3. Détermination de la CMI et de la CMB	72
3.3.1. Evaluation de la CMI	72
3.3.2. Evaluation de la CMB	73
4. Evaluation de l'activité anti-Biofilm	73
5. Evaluation de l'activité antioxydante	74
6. Evaluation de l'activité hémolytique	76
Conclusion et Perspectives	80
Références Bibliographiques	82
Annexe	99

Liste des Figures

Figure 1. <i>Atriplex halimus</i>	4
Figure 2. <i>Haloxylon scoparium</i>	8
Figure 3. Métabolites primaires et secondaires des plantes médicinales	11
Figure 4. Principaux facteurs conduisant à la résistance aux antibiotiques	17
Figure 5. Structure de la paroi bactérienne	18
Figure 6. Représentation graphique des principaux mécanismes de résistance aux antimicrobiens	19
Figure 7. Les mécanismes d'action de plusieurs antibiotiques sur les bactéries à Gram positif et à Gram négatif	19
Figure 8. Progression historique de l'utilisation des antibiotiques et développement consécutif des phénomènes de résistance aux antibiotiques	22
Figure 9. Mécanisme antibactérien des plantes médicinales contre la résistance aux multi-médicaments (MDR) en tant qu'alternatives naturelles aux antibiotiques	39
Figure 10. (a) <i>Atriplex halimus</i> (b) <i>Haloxylon scoparium</i>	45
Figure 11. Teneurs totales en polyphénols, flavonoïdes, alcaloïdes, saponines et tanins dans les extraits aqueux des plantes <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i>	60
Figure 12. Chromatogramme HPLC de l'EA des feuilles d' <i>A. halimus</i>	62
Figure 13. Chromatogramme HPLC de l'EA des feuilles d' <i>H. scoparium</i>	63
Figure 14. Sensibilité aux antibiotiques des souches bactériennes de référence	65
Figure 15. Sensibilité aux antibiotiques des souches bactériennes cliniques	66
Figure 16. Activité antibactérienne d' <i>A. halimus</i> (A) et de <i>H. scoparium</i> (B) contre des souches de référence	68
Figure 17. Activité antibactérienne d' <i>A. halimus</i> (A) et de <i>H. scoparium</i> (B) contre des souches cliniques	71
Figure 18. Activité hémolytique de l'extrait d' <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i>	78

Liste des Tableaux

Tableau 1. Description morphologique d' <i>A. halimus</i>	4
Tableau 2. Exemples des plantes anti-hémolytiques	44
Tableau 3. Comparaison des rendements de l'huile essentielle et des extraits aqueux d' <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i> selon plusieurs études	58
Tableau 4. Composition en minéraux (mg/kg) de l'extrait aqueux d' <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i>	59
Tableau 5. Analyse HPLC de l'extrait d' <i>Atriplex halimus</i> pour déterminer la teneur en composés phénoliques	61
Tableau 6. Analyse HPLC de l'extrait d' <i>Haloxylon scoparium</i> pour déterminer la teneur en composés phénoliques	62
Tableau 7. Profil des antibiotiques des souches de références	65
Tableau 8. Profil des antibiotiques des souches cliniques	66
Tableau 9. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux d' <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i> contre des souches de référence	67
Tableau 10. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux d' <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i> contre des souches cliniques	69
Tableau 11. CMI de l'extrait d' <i>A. halimus</i>	72
Tableau 12. CMI de l'extrait d' <i>H. scoparium</i>	73
Tableau 13. DPPH et FRAP des extraits aqueux d' <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i>	76
Tableau 14. Analyse de corrélation entre les substances phytochimiques identifiées et les activités biologiques de <i>A. halimus</i> et <i>H. scoparium</i>	77

Liste des Abréviations

A. baumannii : *Acinetobacter baumannii*

A. halimus : *Atriplex halimus*

B. spizizenii : *Bacillus spizizenii*

C. freundii : *Citrobacter freundii*

CMB : Concentration Minimale Bactéricide

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

DPPH : (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

E. coli : *Escherichia coli*

EA : Extrait Aqueux

ECAD : *E. coli* à adhésion étendue

ECEA : *E. coli* entéroaggrégatifs

ECEP : *E. coli* entéro-pathogènes

ECET : *E. coli* entérotoxinogènes

EHEC : *E. coli* entérohémorragiques

EIEC : *E. coli* entéro-invasifs

FRAP : Ferric Reducing Antioxydant Power

GR : Globule Rouge

H. scoparium : *Haloxylon scoparium*

HPLC : Chromatographie en Phase Liquide à Haute Performance

K. pneumoniae : *Klebsiella pneumoniae*

LPS : Lipopolysaccharides

MDR : Bactéries Multirésistantes

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P. aeruginosa : *Pseudomonas aeruginosa*

P. pneumotropica : *Pasteurella pneumotropica*

P. vulgaris : *Proteus vulgaris*

PBS : Phosphate Buffered Saline

PLP : Protéines Liant la Pénicilline

S. aureus : *Staphylococcus aureus*

S. marcescens : *Serratia marcescens*

S.spp : *Salmonella spp*

SARM : *Staphylococcus aureus* Résistant à la Méricilline

Y. enterocolitica : *Yersinia enterocolitica*

Liste des Antibiotiques :

- **AK** : Amikacine
- **AMP** : Ampiciline
- **CAZ** : Ceftazidime
- **ERY** : Erythromycine
- **GEN** : Gentamycine
- **IMI** : Imipeneme
- **OX** : Oxacilline
- **PENI G** : Penicilline G
- **VANCO** : Vancomycine

Résumé

Cette étude a porté sur l'évaluation des caractéristiques biologiques et phytochimiques des feuilles d'*Haloxylon scoparium* et d'*Atriplex halimus*, récoltées dans la région algérienne d'Adrar. Les substances biologiquement actives ont été extraites à partir d'extraits aqueux des feuilles par infusion. L'efficacité antimicrobienne a été testée contre plusieurs souches de référence et cliniques via la méthode de diffusion sur disque et la méthode des puits.

Par ailleurs, les activités antioxydantes ont été évaluées à travers les tests DPPH et FRAP, tandis que l'activité hémolytique a été explorée pour évaluer la toxicité potentielle des extraits. Les résultats ont révélé une forte abondance de composants minéraux et phytochimiques dans les deux espèces étudiées.

Atriplex halimus a présenté les valeurs les plus élevées d'activité antioxydante, avec des valeurs IC_{50} de $1,69 \pm 0,67$ mg/g pour le test DPPH et $3,20 \pm 0,04$ mg/g pour le test FRAP. Sur le plan antibactérien, les extraits ont démontré une activité notable, surpassant celle d'antibiotiques conventionnels à une concentration de 25 mg/mL, avec des zones d'inhibition variant de 8 à 40 mm selon les souches testées. Les concentrations 100 mg/mL et 75 mg/mL ont montré les meilleures activités. La CMI a été enregistré pour la concentration 6,25 mg/ML. L'activité hémolytique n'a révélé aucun signe de toxicité, ce qui suggère une bonne tolérance des extraits. Ces résultats confirment que les plantes étudiées possèdent des propriétés antibactériennes et antioxydantes prometteuses, justifiant leur potentiel comme sources naturelles pour le développement de nouveaux agents thérapeutiques.

Mots-clés : *A. halimus* ; *H. scoparium* ; Résistance ; Activité Antibactérienne et Antioxydante ; Propriété Hémolytique.

Abstract

This study focused on evaluating the biological and phytochemical characteristics of the leaves of *Haloxylon scoparium* and *Atriplex halimus*, harvested from the Algerian Adrar region. The biologically active substances were extracted from aqueous leaf extracts by infusion. The antimicrobial efficacy was tested against various reference and clinical strains using the disk diffusion method and the well method.

Furthermore, antioxidant activities were assessed through the DPPH and FRAP assays, while hemolytic activity was investigated to evaluate the potential toxicity of the extracts. The results revealed a high abundance of mineral and phytochemical components in both studied species.

Atriplex halimus showed the highest antioxidant activity values, with IC₅₀ values of 1.69 ± 0.67 mg/g for the DPPH test and 3.20 ± 0.04 mg/g for the FRAP test. Regarding antibacterial activity, the extracts demonstrated notable efficacy, even surpassing conventional antibiotics at a concentration of 25 mg/mL, with inhibition zones ranging from 8 to 40 mm depending on the tested strains. The concentrations of 100 mg/mL and 75 mg/mL showed the best activity. The MIC was recorded for the concentration of 6.25 mg/mL. The hemolytic activity showed no signs of toxicity, suggesting good tolerance of the extracts.

These results confirm that the studied plants possess promising antibacterial and antioxidant properties, justifying their potential as natural sources for developing new therapeutic agents.

Keywords: *Atriplex halimus*; *Haloxylon scoparium*; Resistance; Antibacterial and Antioxidant Activity; Hemolytic Property.

ملخص

قامت هذه الدراسة بتقييم الخصائص البيولوجية والكيميائية النباتية لأوراق نباتات الهالوكسيلون سكوباريوم وأتريبلكس هاليموس التي تم جمعها في منطقة أدرار الجزائرية. تم تحديد المواد النشطة بيولوجيًا للنباتات من المستخلص المائي للأوراق عن طريق التسريب. وقد تم تقييم التأثير المضاد للميكروبات ضد السلالات المرجعية والسريرية باستخدام مقياس الانتشار وطريقة الآبار. بالإضافة إلى ذلك، نظرنا في النشاط التحليلي للدم، و DPPH ، و FRAP. أشارت النتائج إلى أن المكونات المعدنية والكيميائية النباتية كانت وفيرة. تم عرض أعلى قيم DPPH و

تم عرض قيم الـ DPPH و FRAP بشكل ملحوظ بواسطة أتريبلكس هاليموس، حيث بلغت قيم IC50 1.69 ± 0.67 و 3.20 ± 0.04 ملغم/غم على التوالي. بالمقارنة مع المضادات الحيوية التقليدية، كان النشاط المضاد للبكتيريا متفوقًا عند تركيز. بالمقارنة مع المضادات الحيوية التقليدية، كان النشاط المضاد للبكتيريا متفوقًا عند تركيز 25 مجم/مليلتر. كان نطاق مناطق التثبيط 8-40 مم. أظهرت التركيزات 100 مجم/مل و 75 مجم/مل أفضل نشاط. تم تسجيل MIC لتركيز 6.25 مجم/مل لم يكن هناك أي مؤشر على وجود سمية من النشاط الانحلالي. أظهرت النباتات قيد البحث صفات مثيرة للاهتمام كمضاد للبكتيريا ومضادات الأكسدة، ويمكن أن تكون مصدرًا جيدًا للأدوية الطبية الجديدة.

الكلمات المفتاحية: *A. halimus*؛ *H. scoparium*؛ مقاومة متعددة للأدوية؛ نشاط مضاد للبكتيريا ومضاد للأكسدة؛ خاصية انحلال الدم

INTRODUCTION

Les ressources végétales (plantes et produits dérivés) constituent depuis longtemps une source d'exploitation des produits naturels et sont à l'origine de nombreux médicaments modernes pour préserver la santé humaine et traiter les maladies dans le monde entier. Les plantes médicinales ont historiquement servi de source d'inspiration pour des médicaments thérapeutiques innovants et ont considérablement amélioré le bien-être et la santé humaine. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) rapporte que 80% de la population mondiale obtient désormais ses soins médicaux primaires à partir des plantes (**Ramesh et Okigbo, 2008**).

Parallèlement, les produits chimiques synthétiques sont depuis longtemps étudiés en tant qu'agents thérapeutiques potentiels (**Bouasla et al. 2013 ; Hessainia et al. 2013 ; Reggami et al. 2016**) ; cependant, la production de ces molécules est coûteuse et nécessite une main-d'œuvre importante et qualifiée. C'est pourquoi, actuellement, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à l'identification de composés thérapeutiques naturels innovants dérivés de plantes médicinales, car ils sont facilement disponibles et ne présentent pas d'effets négatifs (**Sultana et al. 2023**). Bien que les produits naturels soient utilisés depuis des milliers d'années pour soigner les maladies, un nombre important de médicaments utilisés aujourd'hui en médecine a été créé à partir de molécules naturelles. La recherche de nouvelles substances naturelles actives sur le plan physiologique reste un domaine de recherche important (**Mbosso Teinkela et al. 2018**).

Les composants des plantes médicinales jouent un rôle important dans la prévention ou le contrôle des maladies, car ils sont généralement associés à une gamme variée de composés polyphénoliques (**Tungmunnithum et al. 2018**). En effet, la bioactivité des plantes médicinales englobe des composants tels que les tanins, les quinones, les coumarines, les alcaloïdes, les terpènes, les glycosides, les saponines et les stéroïdes qui présentent des effets contre des pathologies connues depuis de longues périodes. Les plantes médicinales ont un large impact positif, notamment antibactérien, antifongique, antidiabétique, antiulcéreux et anticancéreux sur le traitement des maladies en utilisant un grand nombre de plantes, comme *Acacia Senegal L*, *Commiphora myrrha*, *Podocarpus henkelii*, *Syzygium jambolanum*, *Hydnora johannis*, *Helychrisum arenarium*, et *Catharanthus roseus* (**Becheker et al. 2022 ; Yogeswara et al. 2022 ; Hasanain et al. 2023**). De nombreuses autres molécules dérivées de plantes ont été ajoutées à la boîte à outils thérapeutique actuelle, notamment l'artémisinine d'*Artemisia annua*, les deux cannabinoïdes dronabinol et cannabidiol de *Cannabis sativa*, le tiotropium et la silymarine des graines de *Silybum marianum*, et le paclitaxel de *Taxus brevifolia*, pour traiter respectivement le paludisme, les nausées et vomissements induits par la chimiothérapie, les maladies du foie et des poumons, les cancers de l'ovaire et du sein (**Mbosso Teinkela et al. 2018**).

De nos jours, les médicaments antimicrobiens sont fréquemment mal utilisés, et les infections bactériennes sont passées d'une situation facilement traitable à une situation de résistance accrue. L'émergence de bactéries résistantes ou multirésistantes persiste malgré la disponibilité d'antibiotiques puissants, ce qui nécessite le développement de nouvelles approches thérapeutiques. Les plantes ont été utilisées à travers les âges pour soigner les maladies. Parce qu'ils sont efficaces et moins nocifs pour l'hôte, ces composés végétaux peuvent servir de prototypes pour le développement de médicaments (**Tache et al. 2022**). Les plantes médicinales contiennent une large gamme de métabolites secondaires, dont beaucoup ont démontré un potentiel thérapeutique prometteur et représentent une voie intéressante pour lutter contre la résistance aux médicaments. Comme certaines plantes possèdent différents groupes fonctionnels et une activité antioxydante supplémentaire, on pense que plusieurs mécanismes contribuent à leur action antibactérienne (**Singh et Chaudhuri, 2018**). Le développement de nouvelles souches d'agents pathogènes et la montée ainsi que la propagation de la résistance aux antibiotiques sont deux des plus grands défis auxquels la communauté internationale de la santé est confrontée (**Vaghasiya et al. 2019**).

Notre sélection parmi les nombreuses espèces thérapeutiques de la flore algérienne a porté sur la famille des *Amaranthaceae*, en particulier *Atriplex halimus* (*A. halimus*) et *Haloxylon scoparium* (*H. scoparium*). Ces plantes indigènes d'Afrique du Nord sont très répandues. En raison de leurs applications traditionnelles et de leurs précieuses qualités pharmacologiques, *A. halimus* et *H. scoparium* ont attiré l'attention. La décoction et/ou l'extrait aqueux des parties aériennes des multiples parties de ces plantes sont largement utilisés dans la médecine populaire depuis des années. Par exemple, ces plantes sont souvent utilisées comme diurétique et démulsiifiant, ainsi que pour la diarrhée et les douleurs thoraciques. Ses parties aériennes sont décoctées et utilisées en gargarisme pour traiter les maux de dents (**Elbouzidi et al. 2022**).

OBJECTIF DE LA THESE

Cette étude s'inscrit dans une démarche de valorisation des plantes médicinales algériennes, en particulier *Atriplex halimus* et *Haloxylon scoparium*, reconnues pour leur potentiel thérapeutique traditionnel.

L'objectif principal est d'étudier de manière approfondie la composition phytochimique des extraits aqueux des feuilles de ces deux espèces, afin de mieux comprendre leurs effets biologiques. Par ailleurs, cette recherche vise à évaluer leurs propriétés pharmacologiques, notamment l'activité antibactérienne contre des souches bactériennes de référence et cliniques, dans un contexte où la résistance aux antibiotiques constitue un enjeu majeur de santé publique. Le potentiel antioxydant des extraits sera également exploré, compte tenu du rôle crucial des radicaux libres dans le développement de nombreuses pathologies. Enfin, l'étude de l'activité hémolytique permettra d'évaluer la sécurité cytotoxique de ces extraits, essentielle pour envisager leur usage thérapeutique.

Ainsi, l'hypothèse centrale est que les extraits aqueux de ces plantes contiennent des composés bioactifs capables d'exercer une action synergique contre les agents pathogènes tout en présentant un profil de toxicité limité. Cette recherche contribue ainsi à l'identification de nouvelles sources naturelles de composés pharmacologiquement actifs, répondant aux besoins croissants en alternatives aux traitements conventionnels face à la montée de la résistance antimicrobienne.

Revue de la Bibliographie

1. *Atriplex halimus*

1.1. Description botanique

A. halimus (nom commun : g'ttaf) est un petit arbre mesurant 1 - 3 m de hauteur, formant des buissons de 1 - 3 m de diamètre. *A. halimus* est composé de feuilles alternes, à pétioles courts mais bien visibles, plus ou moins charnus, brillants, couverts de poils vésiculeux blancs (trichomes), ovales, complètement ou légèrement ondulés, de 0,5 à 1 cm de large, 2 à 4 cm de long (**Fig. 1 ; Tab. 1**). La floraison / fructification a lieu du mois de Mai au mois de Décembre. Il existe des structures de fleurs basales, constituées de gamètes mâles et d'autres de fleurs femelles avec un pistil situé entre deux bras opposés (**Talamali et al. 2003**).



Figure 1. *Atriplex halimus*.

<https://dgnurseries.com/product/atriplex-halimus-2-2/> (Consulté le 14/01/2025)

Cette plante est une espèce largement répandue et très polymorphe. Elle peut être hermaphrodite ou polygame (**Négre, 1962 ; Neuhäusl et Neuhäuslová, 1983**). Elle est originaire d'Afrique et a été domestiquée autour du bassin méditerranéen puis introduite avec succès sur la côte atlantique. Elle est actuellement distribuée le long de la côte méditerranéenne, de l'océan Atlantique et de la Manche. Elle pousse au bord de la mer, dans les dunes fixes et dans les buissons. Elle est généralement plantée pour former une haie, parfois spontanément (**Tela Botanica, 2011**).

L'espèce *A. halimus* présente deux sous-espèces, *A. halimus subsp halimus* et *A. halimus subsp schweinfurthii*. La région de répartition de *A. halimus subsp halimus* s'étend des régions semi-arides aux régions humides ; cette sous-espèce peut être identifiée de par sa partie droite qui possède des spécificités et ses parties fructifères de petite taille, chargées de feuilles. Par contre, la sous-espèce *A. halimus subsp schweinfurthii*, retrouvée de façon abondante dans les régions arides et désertiques, possède une partie buissonnante entremêlée, avec des parties fructifères dénudées en haut, fortement linéaires et épinées (**Walker et al. 2005**).

La faune naturelle de *A. halimus* dans les zones des steppes appartiennent environ toutes à la sous-espèce *schweinfurthii*. Il y a beaucoup de plantes de cette dernière à l'état sauvage ou accompagnées avec d'autres plantes halophytes à savoir *Suaeda sp.* et *Salsola sp.*, trouvées de façon générale dans les régions abondantes en sel en Algérie (chotts Hodna, Zehrez Chergui et Gherbi). En Algérie, les chotts sont les régions de préférence d'*A. halimus* en regroupement avec un ensemble de fleurs d'espèces halophytes (Walker et al. 2005 ; Nedjimi et al. 2012).

Les *Atriplex* comptent à peu près 417 espèces dont 48 dans la méditerranée, et 5 utilisées pour l'alimentation des animaux (Wilson, 1994) :

- ❖ *A. nummularia* : production en grande quantité ;
- ❖ *A. halimus* : facile à cultiver ;
- ❖ *A. canescens* : adaptée au milieu riche en sable ;
- ❖ *A. glauca* : intérêt contre l'érosion ;
- ❖ *A. mollis* : adéquate aux terrains hydromorphes riches en sel ;

Tableau 1. Description morphologique de *A. halimus*.

Partie de la plante	Description
Tiges	Érigées-dressées, ligneuses
Feuilles	De taille conséquente, en général 2 fois plus longues que larges, longues ou ovales-obtuses. Valves fructifères coriaces, arrondies-rénifonnes, lisses.
Fleurs	De couleur jaune, en épis longue qui forme une partie finale sans feuilles ou peu feuilletée

1.2. Classification botanique

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe Dicotylédones

Sous classe : Apétales

Série : Hermaphrodites

Ordre : Centrospermales

Famille : Amaranthaceae

Genre : *Atriplex*.

Espèce : *halimus L.*

1.3. Répartition géographique

1.3.1. Répartition dans le monde

L'espèce *Atriplex* est répartie à l'échelle internationale dans plusieurs pays, tel que la Sibérie, Alaska, Patagonie, la Norvège et l'Afrique du sud (**Francllet et Le Houerou, 1971**). Cette espèce est une plante sauvage, endémique dans les pays Nord Africains et le Moyen Orient. En Europe cette espèce se trouve également dans le littoral méditerranéen telles que l'Espagne, l'Italie et la Bulgarie (**Choukr Allah, 1996**).

1.3.2. Répartition en Algérie

En Algérie l'espèce *Atriplex* sauvage dans les régions bioclimatiques et les régions arides et semi-arides, est retrouvée dans les zones de Tiaret, Tebessa, Msila, Saida, Djelfa, Boussaâda, Biskra et Batna.; cette plante se trouve également dans le Sahara, spécialement dans la région de Béchar où les rivières traversent les dépressions creuses (**Benrebiha, 1987**).

1.4. Propriétés écologiques

L'*Atriplex* est une espèce spontanée ou cultivée dans les étages bioclimatiques humides, semi-arides et arides (**Francllet et Le Houerou, 1971**). Les *Atriplex* possèdent une bonne adaptation aux paramètres non favorables du relief. *A. halimus* L.cv *halimus* tolèrent des quantités de chlorure de sodium (NaCl) proches de celles de l'eau maritime (30 g/l) (**Zid et Boukheris, 1977**).

Cette plante au stade germinatif sous forme de graines n'est pas adaptée aux caractéristiques salines. En effet, **Belkhodja et Bidai (2004)** ont montré que la germination des graines d'*A. halimus* des sites de Djelfa et de Senia est bloquée quand la quantité en NaCl dépasse 5 g/l. La répartition de l'espèce *Atriplex*, révèle que la plupart des plantes se situent dans les zones où la pluviométrie varie entre 200 et 400 mm/an (**Francllet et Le Houerou, 1971**). D'autre part, *Atriplex* tolère des degrés Celsius faibles allant de 5 à 10 °C jusqu'à -10 °C et peut s'adapter à divers milieux ainsi qu'à divers types de sols (**Pouget, 1971 ; Froment, 1972**). Selon **Killian (1953)**, les *Atriplex* poussent dans les terres de nature sableuses.

1.5. Utilisation traditionnelle

L'*Atriplex* est une plante qui possède des propriétés nutritionnelles, contenant des protéines, des sels minéraux et Vit. A, C et D (**Francllet et Le Houerou, 1971 ; Chikhi et al. 2014**). Dans la médecine ancienne, les feuilles de cette plante sont administrées aux malades cardiaques,

diabétiques et ayant des maladies inflammatoires ; les feuilles riches en principes actifs, possèdent des propriétés phytochimiques importantes (**Walker et al. 2014**). *A. halimus* est généralement employé pour soigner les maladies du tractus urinaire et les lithiases des voies urinaires ; les feuilles sont prises, en décoction, contre les calculs rénaux à raison de 250 g/l d'eau. D'autre part, grâce à ses propriétés anti-oxydantes dues à la présence de certains flavonoïdes, les feuilles d'*Atriplex* auraient un effet protecteur contre le cancer du foie (**Emam, 2011**).

A. halimus est utilisée pour l'alimentation hebdomadaire des animaux, en particulier pour les moutons (**H.C.D.S., 1996**).

2- *Haloxylon scoparium*

2.1. Description botanique

H. scoparium fait partie de la famille des Amaranthaceae, comptant 800 espèces distribuées sur 75 genres. Le genre *Haloxylon* comprend environ 25 espèces. Il est réparti depuis les régions de l'Ouest méditerranéen jusqu'à la péninsule arabique, l'Iran et le Sud-Ouest de la Chine. Cette espèce se trouve à l'état spontané dans les régions sèches de la zone de la méditerranée et le Moyen-Orient (**El-Shazly et Wink, 2003**).

H. scoparium est un arbuste de petite taille halophyte touffu (**Fig. 2**) trouvé dans les zones sableuses d'Afrique du Nord et la région du Moyen Orient (**Li et al. 2010**). Il s'agit d'un petit arbre, linéaire, de couleur marron qui vire plus souvent à une couleur plus foncée ou grise, une fois à l'état sec (**Lamchouri et al. 2012**). Les feuilles sont inversées, de petite taille triangulaire ; les tiges sont fines et remplies, articulées, droites et très abondantes. Les fleurs sont toutefois uniques à l'aisselle des feuilles longues. En hivers, les fruits, sont remplis de graines mesurant entre 3 à 5 cm, droites et ovales, de diamètre évalué à 1,5 mm, possédant un système mélangé à rallongement horizontale et verticale (**Boucherit et al. 2018**).



Figure 2. *Haloxylon scoparium*

<https://www.plantsnap.com/plant-encyclopedia/angiosperms/Amaranthaceae/haloxylon-scoparium/> (Consulté le 14/01/2025)

2.2. Classification taxonomique

Règne: Plantae

Sous-règne: Tracheobionta

Embranchement: Spermatophytes

Sous Embranchement: Angiospermes

Division: Magnoliophyta

Classe: Magnoliopsida

Sous-classe: Caryophyllidae

Ordre: Caryophyllales

Famille: Amaranthaceae

Genre: *Haloxylon*

Espèce: *scoparium* Pomel

Autres nomenclatures: *Hammada scoparia* (Pomel) Ijlin, *Arthrophytum scoparium* (Pomel) Ijlin., *Salsola articulata* (Cav), *Haloxylon articulatu*

Nom en arabe : Remth (الرمث) (Boucherit et al. 2018 ; Kapiel et Hamdy, 2024).

2.3. Répartition géographique

2.3.1. Répartition dans le monde

H. scoparium est une espèce adaptée aux environnements désertiques arides. Elle est caractéristique des déserts chauds de l'Afrique du Nord, du Moyen-Orient (notamment dans le désert du Sinaï et du Néguev en Palestine) et de la péninsule arabique, avec une extension limitée en Asie de l'Ouest (Iran et Pakistan) (Boucherit et al. 2018).

2.3.2. Répartition en Algérie

H. scoparium (ou *Hammada scoparia*) est une plante emblématique des écosystèmes désertiques de l'Algérie, principalement localisée dans le Sahara algérien. Sa répartition reflète son adaptation extrême aux conditions arides et hyperarides. Ainsi, sa présence est cruciale pour l'équilibre écologique de ces milieux extrêmes.

Cette plante est Principalement présente dans les régions suivantes :

1. *Sud-Ouest saharien* :

* Tindouf : zones désertiques autour de Tindouf et près de la frontière marocaine, notamment dans les plaines sableuses et les regs (étendues caillouteuses).

* Adrar : répandu dans la région d'Adrar, y compris le Touat et le Gourara, où il colonise les sols sableux et les dunes fixées.

2. *Hoggar (Ahaggar)* :

* Tamanrasset : présent dans les zones arides du massif du Hoggar, notamment dans les vallées sèches (*oueds*) et les plateaux rocheux (*hamadas*).

* Parc national de Al Hoggar : protégé dans certaines zones de ce parc, où il contribue à stabiliser les sols.

3. *Grand Erg Occidental et Oriental* :

* Grand Erg Occidental : trouvé dans les dunes stabilisées et les marges de cet erg, notamment près de Béchar et de Timimoun.

* Grand Erg Oriental : localisé dans les zones orientales du Sahara algérien, près de Ouargla et El Oued.

2.4. Propriétés écologiques

Les espèces *d'Haloxylon* sont importantes pour les écosystèmes désertiques, Elles prospèrent dans les milieux hyperarides (résistent à l'absence de sol fertile), sur des sols sableux ou caillouteux (pauvres en matière organique), souvent associées aux plaines désertiques, aux regs

(étendues de pierres) et aux hamadas (plateaux rocheux) ; elles possèdent des systèmes racinaires profonds et préviennent l'érosion du sol en stabilisant les dunes et en offrant un abri à la faune désertique ; elles peuvent survivre avec des précipitations inférieures à 100 mm/an et des températures extrêmes (plus de 50°C l'été).

Leur rôle écologique est principalement :

- Stabilisateur des sols : limite l'érosion éolienne.
- Refuge pour la faune : offre abri et nourriture aux reptiles (comme les lézards du genre *Uromastyx*) et aux oiseaux désertiques.

Cette plante est menacée par des pressions anthropiques :

- Surpâturage : menacé par le bétail (chameaux, chèvres) qui consomme les jeunes pousses.
- Avancée du désert : fragilisé par la désertification accélérée.

2.5. Utilisation traditionnelle

L'emploi traditionnel d'*H. scoparium* par les communautés locales est étroitement associé à son acclimatation aux conditions extrêmes. Cette plante bien connue est couramment employée en décoction, infusion ou cataplasme pour soigner différentes affections. On en a souvent recours pour le traitement de l'hypertension, des néoplasmes cutanés, de la dermatite, du diabète, de la polyarthrite rhumatoïde, de l'arthrose, de la gale, des plaies, des troubles digestifs et de la gastro-entérite (**Eddouks et al. 2002 ; Abouri et al. 2012 ; Fakchich et Elachouri, 2014**). Les feuilles, qu'elles soient en infusion ou en décoction, sont employées pour des bains de bouche afin de soulager les douleurs dentaires (**Kharchoufa et al. 2020**). Des recherches en pharmacologie ont démontré que la plante possède des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, larvicides, cytotoxiques et antipaludiques, molluscicides, anticancéreuses, réno-protectrices et hépatoprotectrices. De plus, une recherche récente stipule que l'extrait de *H. scoparium* pomel pourrait potentiellement rétablir les fonctions neurologiques et posséder des propriétés antioxydantes (**Tair et al. 2016**). Selon la médecine traditionnelle, cette plante est employée comme un remède pour soigner les troubles de l'œil et de la vue (**Mazars, 1998**). Selon **Lamchouri et al. (2012)**, *H. scoparium* pourrait aussi être employé en tant qu'agent antiseptique et anti-inflammatoire. En plus des propriétés médicales, *H. scoparium* possède des caractéristiques combustibles.

Son bois dense et sec est très prisé comme combustible dans les régions désertiques où les arbres sont rares. Il brûle lentement et produit une chaleur intense, idéale pour la cuisson et le chauffage. Les nomades et les habitants des oasis l'utilisent pour produire du charbon de bois, commercialisé localement ou régionalement.

H. scoparium est utilisé également comme fourrage pour le bétail. Bien que peu nutritive, la plante est broutée par les chameaux, chèvres et moutons en période de sécheresse extrême, lorsque d'autres ressources sont indisponibles.

3. Composition chimique des plantes

De nombreux composés naturels issus des plantes médicinales ont été efficacement identifiés grâce à des méthodes ethnopharmacologiques, et ont constitué une base pour des approches innovantes dans le secteur pharmaceutique. Des exemples de métabolites primaires et secondaires présents dans les plantes médicinales sont présentés dans la **Fig. 3**.

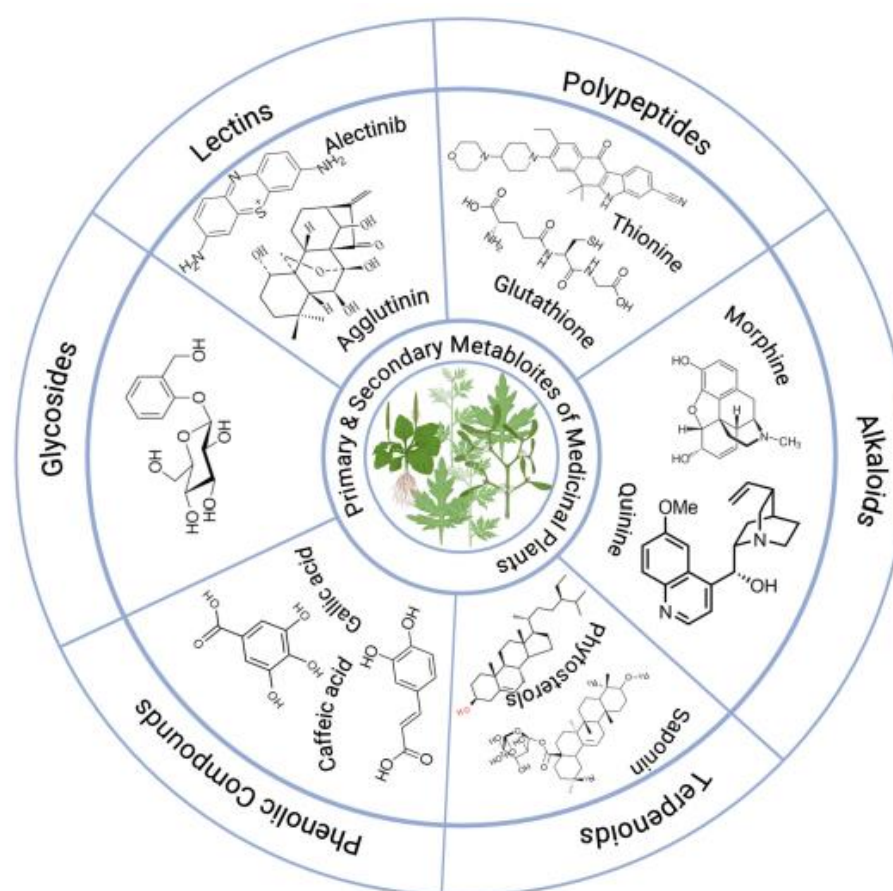


Figure 3. Métabolites primaires et secondaires des plantes médicinales (El-Saadony et al. 2025).

La famille des *Amaranthaceae* est riche en flavonoïdes, saponines et plus spécifiquement en alcaloïdes. La plante *H. scoparium* provenant de la faune Algérienne possède la cargénine, et la N-méthylisosalsoline comme alcaloïdes dominants type tétrahydroisoquinoline et l'isosalsoline, salsolidine, isosalsolidine, déhydrosalsolidine, tryptamine et la N-méthyltryptamine comme alcaloïdes avec des quantités minimales (Mohammedi et Atik, 2014).

3.1. Les Polyphénols

Ces métabolites secondaires comprennent des groupes fonctionnels phénoliques et hydroxyles liés à un cycle aromatique appelé phénol. C'est un vaste ensemble de substances aux structures variées qu'il est difficile de définir, cependant, l'élément de structure basique est un noyau benzénique auquel sont directement fixés un ou beaucoup d'éléments engagés dans une autre fonction chimique (éther, ester, hétéroside, etc ...) (Bruneton, 2003 ; Lugasi et al. 2003 ; Sarni-Manchado et Veronique, 2006). Ces composés manifestent une grande diversité de structures : quinones (Anthracénosides), coumarines, acide phénolique, flavonoïdes, tanins, stilbénoides, lignanes et xanthoses (King et Young, 1999 ; Tapiero et al. 2002 ; Hennebelle et al. 2004 ; Stalikas, 2007).

Le phénol lui-même est constitué de groupements chimiquement variés. Gautam et al. (2020) affirment que les composés phénoliques remplissent plusieurs fonctions protectrices dans la nature, notamment en favorisant le développement et la reproduction des plantes, en améliorant la germination des graines avant la récolte, et en assurant une protection contre les maladies et les prédateurs. Quatre catégories distinctes de polyphénols comprennent les acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins et les stilbènes.

3.2. Les Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un sous-ensemble important des composés polyphénoliques, comprenant plus de 9000 molécules naturelles reconnues. Ce sont des agents pigmentaires plantaires que l'on retrouve dans les plantes, constitués de sucres formés d'un squelette comportant 15 atomes de carbone (C6-C3-C6). En raison du profil d'hydroxylation et des variations du cycle C qui est un hétérocycle pyramique, les flavonoïdes peuvent être divisés en six sous-groupes : flavones, flavonols, flavanols (ou catéchines), flavanones, isoflavones et anthacyanines, qui se différencient par le degré d'oxydation du noyau pyramique central. Les flavonoïdes sont répandus dans la nature où ils se trouvent dans tous les organes des plantes et contribuent à donner de la saveur, du goût et une couleur attrayante à de nombreux fruits et légumes.

Divers types de flavonoïdes se voient attribuer des propriétés antiallergiques, antidiabétiques, anti-inflammatoires, antivirales, antibactériennes, antifongiques, antiprolifératives, anticarcinogènes, hépatoprotectrices et antioxydantes ((**Dai et Mumper, 2010 ; Ullah et al. 2020**). De plus, de nombreuses études ont démontré l'efficacité de ces composés dans la lutte contre les bactéries multirésistantes (MDR) de types Gram négatif et Gram positif. En réponse à une infection microbienne, les plantes synthétisent des métabolites secondaires ; ainsi, les nombreuses données *in vitro* sur leur large spectre d'efficacité antibactérienne sont parfaitement cohérentes (**Jubair et al. 2021**).

3.3. Les Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont définis comme un groupe de base complexe avec un cycle hétérogène, contenant un atome d'aride. Jusqu'à présent 6000 alcaloïdes sont connus, retrouvés dans environ 4000 espèces végétales. Ces molécules ont la propriété de se dissoudre dans les solvants organiques tels que le chloroforme et l'éther. Ce sont pour la plupart des poisons végétaux très actifs, dotés d'une action spécifique à propriétés biologiques et médicamenteuses (**Guignard, 1974**). Il est possible que les alcaloïdes assurent un rôle protecteur aux plantes face aux prédateurs et aux herbivores (**Merghem, 2009**).

Les alcaloïdes présentent une activité biologique importante grâce à leur capacité à former des liaisons hydrogènes avec les enzymes, les récepteurs et les protéines. Cette capacité est rendue possible par un atome d'azote qui absorbe des protons et un ou plusieurs atomes d'hydrogène amine qui fournissent des protons. Les alcaloïdes ont pris de l'importance dans le traitement des maladies infectieuses multirésistantes en raison de leurs propriétés antibactériennes (**Adibah et Azzreena, 2019**).

3.4. Les Saponines

La saponine est un composé naturel dont la structure est hétéroside, stérol ou triterpénoïde et est très abondante dans les plantes. La saponine est une substance tensioactive qui peut former une solution colloïdale et faire ressembler à la mousse du savon.

Les saponines sont constituées de deux parties :

- Une fraction osidique à 2-3 chaînes glucidiques; parmi les sucres les plus connus, on cite ceux liés à la sapogénine, le D-glucose, D-galactose, D-xylose, D-ribose, D-rhannose, l'acide uronique et l'acide D-glucuronique
- Un aglycone, divisé en deux catégories : les saponines triterpénoïdes et les saponines stéroïdiennes (**Cheeke et al. 2006**).

3.5. Les Terpénoïdes

Les terpénoïdes sont les métabolites secondaires prédominants, issus métaboliquement de l'acétyl-CoA ou des intermédiaires glycolytiques. Les plantes produisent plusieurs terpénoïdes en tant que métabolites secondaires, qui sont supposés fournir une protection contre les herbivores insectes et mammifères. La structure moléculaire commune à ces métabolites est C₁₀H₁₆. Les propriétés antibactériennes de plusieurs terpènes contre les bactéries, champignons, virus et protozoaires ont été rapportées. Les terpénoïdes oxygénés, aux structures variées, présentent une activité antibactérienne contre de nombreuses bactéries et champignons, en particulier ceux possédant des groupes fonctionnels alcool. Ces molécules démontrent une action supérieure par rapport aux aldéhydes et aux cétones. Bien que le mécanisme d'action précis de ces terpénoïdes reste incertain, il est supposé qu'ils pourraient compromettre les membranes cellulaires (King et Wang, 2023).

3.6. Les Métaux lourds

Les métaux sont des matériaux généralement dérivés de minerais ou d'autres métaux, ayant les propriétés suivantes : ils ont une brillance particulière, une bonne conductivité de chaleur et d'électricité ; ils sont durs et malléables, faciles à combiner avec d'autres éléments pour former des formes alliages utilisées dans l'industrie.

Le terme « métal lourd », bien qu'il ne soit souvent pas défini de manière rigide, est communément utilisé pour les métaux qui ont des poids spécifiques supérieurs à 5 g.cm⁻³

Les métaux lourds existent naturellement mais en quantités très faibles dans les sols, l'eau et l'air. Certaines activités humaines, comme la combustion du charbon, du pétrole, des déchets et certains procédés industriels et applications agricoles en rediffusent en grande quantité dans l'environnement. Ils sont souvent liés aux particules fines à l'exception du mercure, qui est principalement gazeux (Abid, 2021).

4. Méthodes d'extraction

En phytothérapie, il existe différentes méthodes de préparation des plantes, adaptées à l'application prévue. Les méthodes d'élaboration les plus fréquemment utilisées sont :

4.1. L'infusion

Elle est habituellement réalisée avec les feuillages et les feuillages de cultures, mais il est aussi envisageable d'infuser des tiges et des troncs. On prépare une infusion en versant de l'eau

bouillante sur une portion déterminée de matière végétale, puis on laisse infuser le mélange pendant 10 à 15 min. A la fin, un séchage est réalisé à l'étuve à 50 °C maximum jusqu'à obtention d'une poudre (Sofowera, 2010).

4.2. La décoction

Les plantes sont immergées dans de l'eau froide et mises à bouillir pendant un laps de temps variable, généralement 2 ou 3 min pour les feuillages, les tiges et les fruits, et 5 min ou plus pour les troncs et les racines (Pierre et Lis, 2007).

4.3. La Macération

Le liquide utilisé pour la préparation peut être de l'eau, de l'alcool ou du vinaigre. Pour la macération à l'eau, il est nécessaire d'immerger les plantes dans un fluide froid ou doux pendant une durée allant de 10 à 12 heures. Il est recommandé de ne pas excéder une douzaine d'heures pour les macérations à l'eau afin d'éviter l'oxydation et la fermentation du liquide. En ce qui concerne l'alcool, le vinaigre et les huiles, ce genre de mélange peut durer plusieurs jours sans poser de problème (Pierre et Lis, 2007).

4.4. Les extraits

Habituellement, cela se réfère à la plante dans son intégralité, c'est-à-dire la plante entière d'où ont été éliminées les parties fibreuses et l'eau. On distingue plusieurs types d'extraits : l'extrait sec, l'extrait liquide, les extraits normalisés et les lyophilisés (Caroline et Michel, 2013).

4.5. La pulvérisation

La poudre est obtenue en broyant une plante, avec un mortier et un pilon. Il est possible de pulvériser la plante facilement en la plaçant dans un four à basse température pendant quelques instants (Morigane, 2007).

5. Mécanismes de résistance aux antibiotiques

5.1. Définition

Les antibiotiques (**Annexe 1**) sont des agents antimicrobiens qui peuvent être d'origine naturelle, produits par des micro-organismes tels que des bactéries ou des champignons microscopiques, ou bien synthétisés chimiquement (sulfamides). Leur fonction principale est de bloquer la croissance ou d'éliminer d'autres micro-organismes. Il existe deux catégories d'antibiotiques :

- Les antibiotiques à action bactériostatique, agissent en empêchant la croissance des bactéries en

ralentissant puis en stoppant leur multiplication. Parmi ces antibiotiques, on retrouve les β -lactamines, les aminosides, les quinolones, les polypeptides, les rifamycines ainsi que les sulfamides-diaminopyrines.

- Les antibiotiques à effet bactéricide, détruisent les bactéries en provoquant leur lyse. Parmi eux, on compte les cyclines, les macrolides, les phénicolés, l'acide fusidique ainsi que les nitrofuranes (**Boulahbal, 2006**).

L'antibiorésistance est définie comme la capacité de certaines bactéries à résister à l'action d'un ou plusieurs antibiotiques. C'est un phénomène naturel dans lequel les microorganismes (bactéries, champignons et protozoaires) acquièrent la capacité de survivre et de se multiplier malgré l'administration de médicaments (**Aggarwal et al. 2024**). Cette résistance correspond à la présence dans le génome de ces bactéries de gènes codant pour cette résistance. Le chromosome bactérien ou le plasmide portent le support génétique de la résistance.

Les antibiotiques sont essentiels pour traiter les maladies bactériennes ; cependant, leur utilisation massive, en particulier dans les environnements à ressources limitées, crée une pression de sélection qui favorise le développement de la résistance. Cela entraîne une augmentation de la morbidité et de la mortalité (**Salam et al. 2023**). En 2015, la consommation mondiale d'antibiotiques a atteint 42,3 milliards de doses quotidiennes, un chiffre qui alarme les chercheurs quant aux conséquences du risque croissant d'antibiorésistance sur la santé publique (**Maurin, 2018**).

D'autre part, l'apparition de « superbactéries », résistantes à de nombreux médicaments, souligne la gravité du problème, poussant l'OMS à désigner l'antibiorésistance comme un défi majeur pour la santé mondiale. Des données récentes révèlent que l'antibiorésistance est actuellement responsable de millions de décès chaque année, avec des prévisions indiquant une hausse substantielle pouvant atteindre 10 millions de morts par an d'ici l'an 2050 (**Murray et al. 2022**).

L'émergence de microorganismes multirésistants pose une menace sérieuse pour la santé mondiale, en particulier dans les régions à faible revenu, malgré les avancées significatives réalisées dans le domaine des médicaments antimicrobiens et de la recherche médicale au cours du siècle dernier. La propagation rapide de ces infections multirésistantes est principalement attribuée aux prescriptions inappropriées, à la sur-utilisation et à l'accès non réglementé aux antibiotiques (**El-Saadony et al. 2025**). Plusieurs antibiotiques fréquemment utilisés sont désormais inefficaces contre 70% des bactéries responsables des infections nosocomiales

(Vasan et al. 2019).

La **Fig. 4** présente une revue détaillée des facteurs contribuant à la résistance des microorganismes aux antibiotiques.

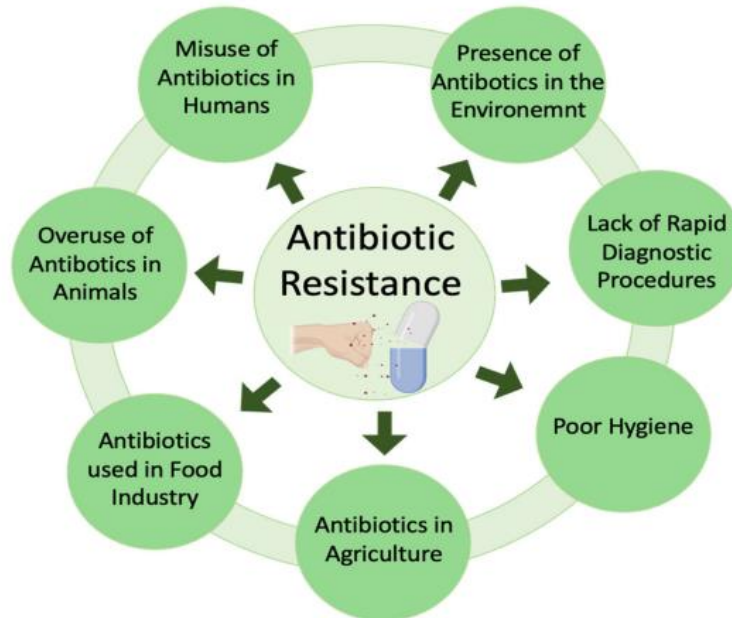


Figure 4. Principaux facteurs conduisant à la résistance aux antibiotiques (El-Saadony et al. 2025).

Les mécanismes de résistance diffèrent entre les bactéries à Gram positif et à Gram négatif en raison de leurs différences structurelles (**Fig. 5**) (Reygaert, 2018). Les bactéries à Gram positif, caractérisées par une couche externe de peptidoglycane grossièrement maillé, ornée de polymères d'acide téichoïque et de protéines liées de manière covalente, facilitent le passage de petites molécules de 30 à 57 kDa et sont relativement sensibles à divers antibiotiques (Jian et al. 2021). La résistance chez les bactéries à Gram positif est généralement liée à des mécanismes impliquant la destruction ou l'inactivation des antibiotiques, des modifications du site cible, ou un efflux actif, qui utilise moins fréquemment la restriction de l'absorption des médicaments, en raison de l'absence d'une membrane externe LPS et de l'incapacité à certains types de mécanismes d'efflux (Rice, 2006 ; Karaman et al. 2020). En revanche, les bactéries à Gram négatif possèdent une membrane externe dont les molécules lipidiques comportent plusieurs chaînes d'acides gras, ce qui contribue à réduire la fluidité de la membrane et donc à diminuer le seuil de perméabilité, rendant ainsi ces bactéries intrinsèquement insensibles à de nombreux agents antibactériens différents (Chancey et al. 2012).

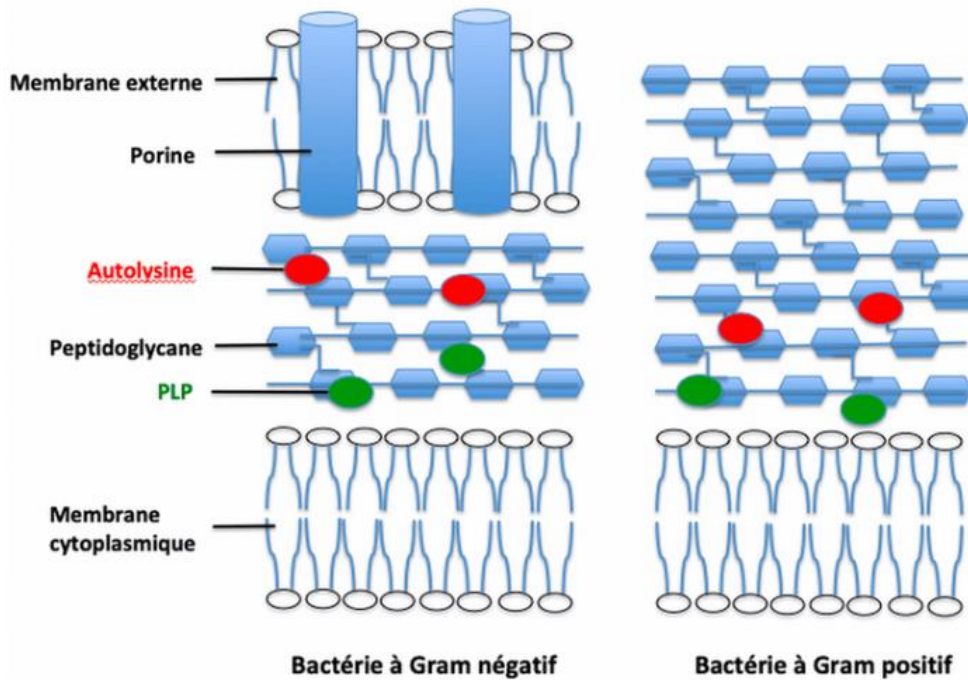


Figure 5. Structure de la paroi bactérienne (Cardot-Martin et al. 2019).

Chez les bactéries à Gram positif, le peptidoglycane est la partie la plus externe de la bactérie. Il est plus épais que chez les bactéries à Gram négatif et entoure la membrane cytoplasmique de la bactérie. Chez les bactéries à Gram négatif, la paroi contient un élément supplémentaire, la membrane externe, laquelle entoure le peptidoglycane, plus fin que chez les bactéries à Gram positif. Le peptidoglycane constitue une structure tridimensionnelle spécifique au monde bactérien. Il est essentiellement composé de chaînes glucidiques reliées par des ponts térapeptidiques conférant à la bactérie sa forme, sa rigidité et lui permettant de résister à la forte pression osmotique intracytoplasmique. Il est synthétisé par les PLP (protéines liant la pénicilline correspondant à trois types d'enzymes : transpeptidases, carboxypeptidases et glycosyltransférases) et dégradé par les autolysines (Cardot-Martin et al. 2019).

Quatre mécanismes biochimiques principaux sont responsables de la résistance bactérienne à un antibiotique donné (**Fig. 6**) :

1. Dégradation de l'antibiotique par des enzymes bactériennes ;
2. Altération de l'antibiotique par des enzymes bactériennes ;
3. Réduction de l'affinité de l'antibiotique pour sa ou ses cibles bactériennes, par modification quantitative ou qualitative de celles-ci ;
4. Efflux de l'antibiotique hors de la bactérie après pénétration ;
5. Imperméabilité de la membrane bactérienne à cet antibiotique ;

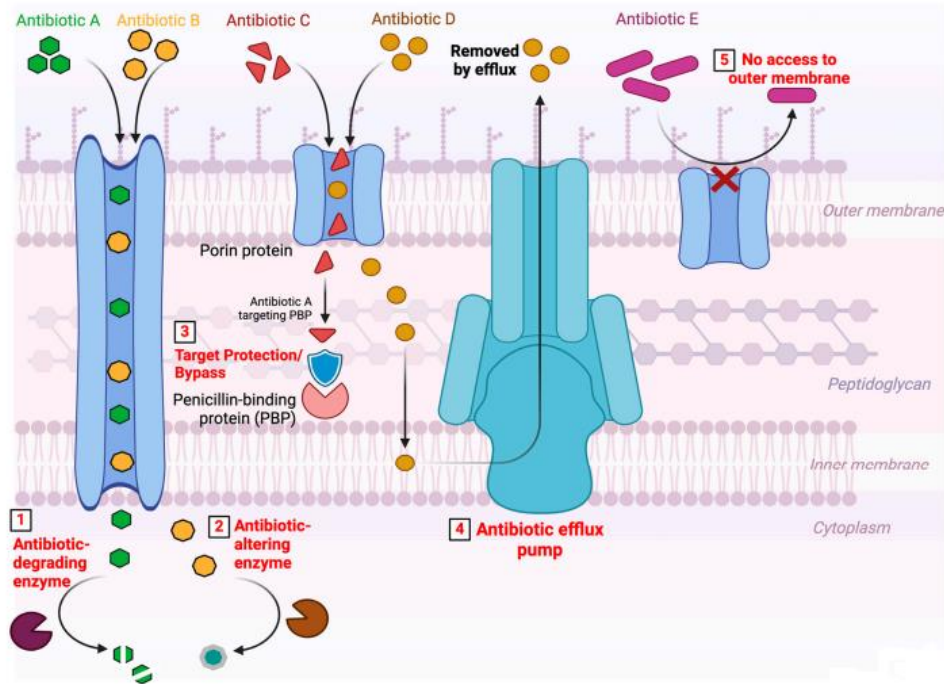


Figure 6. Représentation graphique des principaux mécanismes de résistance aux antimicrobiens (Galgano et al. 2025).

Les modes d'action de plusieurs antibiotiques sur les bactéries à Gram positif et à Gram négatif sont illustrés dans la **Fig. 7**.

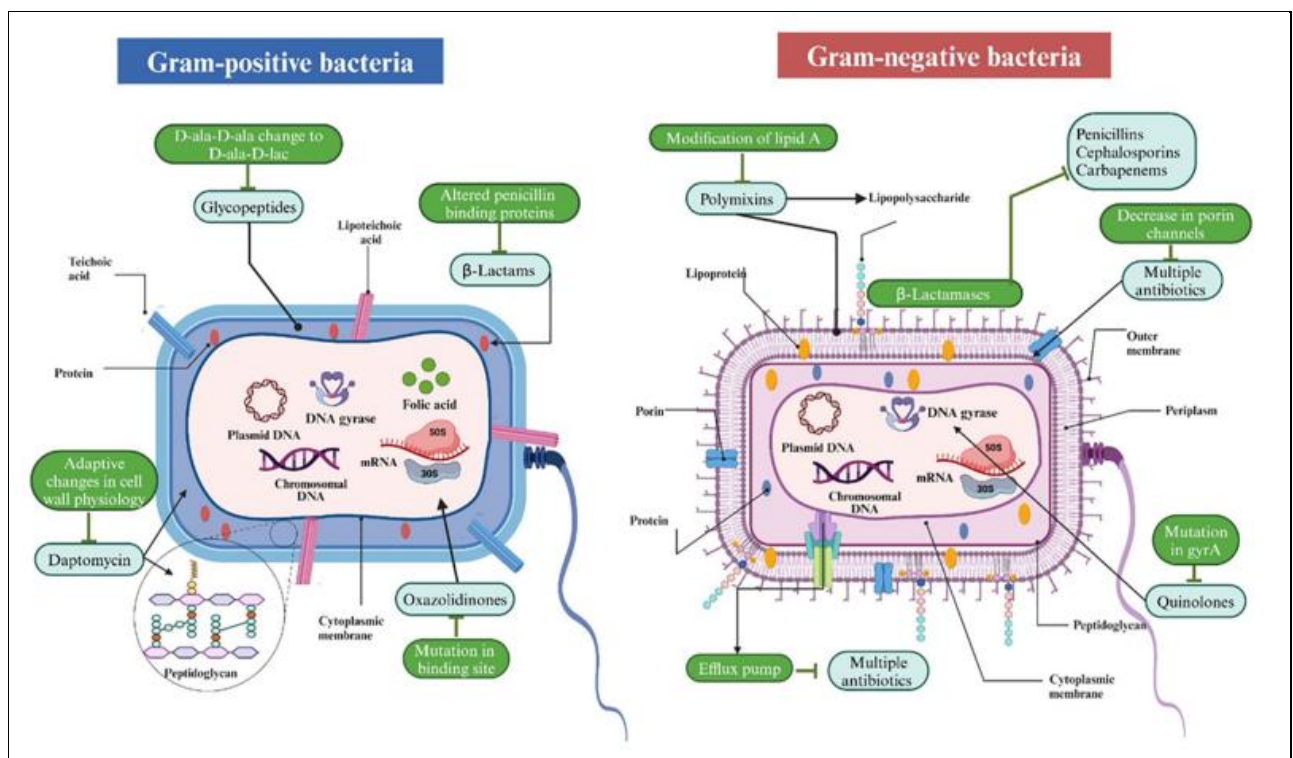


Figure 7. Mécanismes d'action de plusieurs antibiotiques sur les bactéries à Gram positif et à Gram négatif (El-Saadony et al. 2025).

Les bactéries à Gram positif, caractérisées par une épaisse couche de peptidoglycane et des acides téichoïques, sont vulnérables aux antibiotiques tels que les glycopeptides (par exemple, la vancomycine) qui empêchent la formation de la paroi cellulaire, ainsi qu'à la daptomycine, qui affecte le potentiel membranaire. Les bactéries à Gram négatif, caractérisées par une membrane externe et une couche de peptidoglycane plus fine, présentent une perméabilité plus faible mais restent sensibles aux polymyxines qui compromettent la membrane externe, ainsi qu'à d'autres agents qui ciblent les ribosomes (synthèse des protéines) ou la gyrase de l'ADN (réplication de l'ADN). Les deux types de bactéries présentent des vulnérabilités similaires au niveau de la synthèse des protéines, du métabolisme de l'acide folique et de la réplication de l'ADN, qui sont ciblées respectivement par des antibiotiques tels que les tétracyclines, les sulfamides et les quinolones. Des mécanismes de résistance sont également observés, incluant des protéines de liaison à la pénicilline modifiées, la synthèse de bêta-lactamases, les pompes d'efflux et les altérations des porines.

La connaissance de l'effet bactéricide ou bactériostatique d'un antibiotique est essentielle en antibiothérapie : la prescription d'un antibiotique bactéricide ou bactériostatique sera en fonction de la gravité de l'infection et de l'état du malade. Elle permet aussi de faire une association judicieuse d'antibiotiques (**Tenover, 2006**).

5.2. Origine de la résistance bactérienne aux antibiotiques

L'évolution des bactéries qui manifestent parfaitement le concept biologique de Darwin « survie du plus apte » est illustrée par leur capacité à résister aux antibiotiques grâce à l'acquisition de gènes spécifiques et à divers mécanismes particuliers. Ce processus existe depuis des millénaires, précédant l'apparition des produits antimicrobiens industriels (**Davies, 1997**). La résistance bactérienne aux antibiotiques est susceptible d'avoir eu son origine lorsque les organismes, à l'origine sensibles, réussissent à acquérir une protection de l'attaque concurrentielle d'autres organismes produisant des antibiotiques. Par conséquent, ces organismes ont pu aussi obtenir une protection contre leurs propres produits toxiques (**Phillips et al. 2004**). Cette supposition a été confirmée par la découverte d'enzymes modifiant l'aminoglycoside dans des organismes producteurs de ce dernier et qui affichent une forte homologie aux enzymes modificateurs trouvés chez des bactéries résistantes à la famille des aminoglycosides (**Davies, 1997**).

Il est donc impératif de reconnaître que la réponse à l'évolution bactérienne n'a pas été limitée à l'acquisition de gènes de résistance. Les bactéries ont également développées des moyens pour stabiliser le phénotype de résistance, anéantissant ainsi les espoirs d'inversion de la résistance en réduisant simplement l'usage des antibactériens (**Barbosa et Levy, 2000**).

Le début d'une nouvelle ère d'innovation dans l'utilisation des médicaments pour la santé humaine et animale a été marqué par les études d'Alexander Fleming, qui, en co-inoculant une dose létale de *Salmonella typhi* avec *Penicillium glaucum*, a réussi à contrecarrer le développement de la typhoïde, démontrant ainsi l'importance clinique de la pénicilline dans la prévention de cette maladie (Galgano et al. 2025). La résistance bactérienne aux antibiotiques est apparue rapidement après leur introduction dans le traitement des maladies infectieuses. Cette résistance est un facteur majeur compliquant la chimiothérapie antibactérienne, le contrôle des maladies infectieuses et la dissémination de souches multirésistantes (Mainardi et al. 1996).

Au fil des décennies, les bactéries multirésistantes sont devenues un problème majeur de santé publique, avec des pathogènes comme le *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (SARM) apparu dès 1961, et des résistances étendues à plusieurs classes d'antibiotiques, rendant certaines infections difficiles voire impossibles à traiter avec les traitements classiques.

En résumé, l'histoire de l'usage des antibiotiques est marquée par une découverte rapide et une utilisation massive suivie presque immédiatement par l'apparition et la propagation de résistances bactériennes, un phénomène évolutif accéléré qui continue de poser un défi majeur à la médecine moderne (Fig. 8).

Il est essentiel d'admettre que la réaction à l'évolution bactérienne ne se limite pas à l'acquisition de gènes de résistance. Les bactéries ont aussi mis en place des stratégies pour réguler le phénomène de résistance, ce qui a anéanti les espoirs d'inverser la résistance en minimisant seulement l'utilisation des antibiotiques. Ce facteur de résistance constitue un obstacle majeur à la chimiothérapie antibactérienne, à la gestion des maladies infectieuses et à la propagation de souches multirésistantes. Il rend ardu et onéreux le traitement des infections courantes, entraînant des délais dans la productivité du soin ou, dans le pire des cas, l'incapacité à fournir le soin approprié. Cela peut avoir de lourdes répercussions, surtout chez les patients en situation critique (White, 2001).

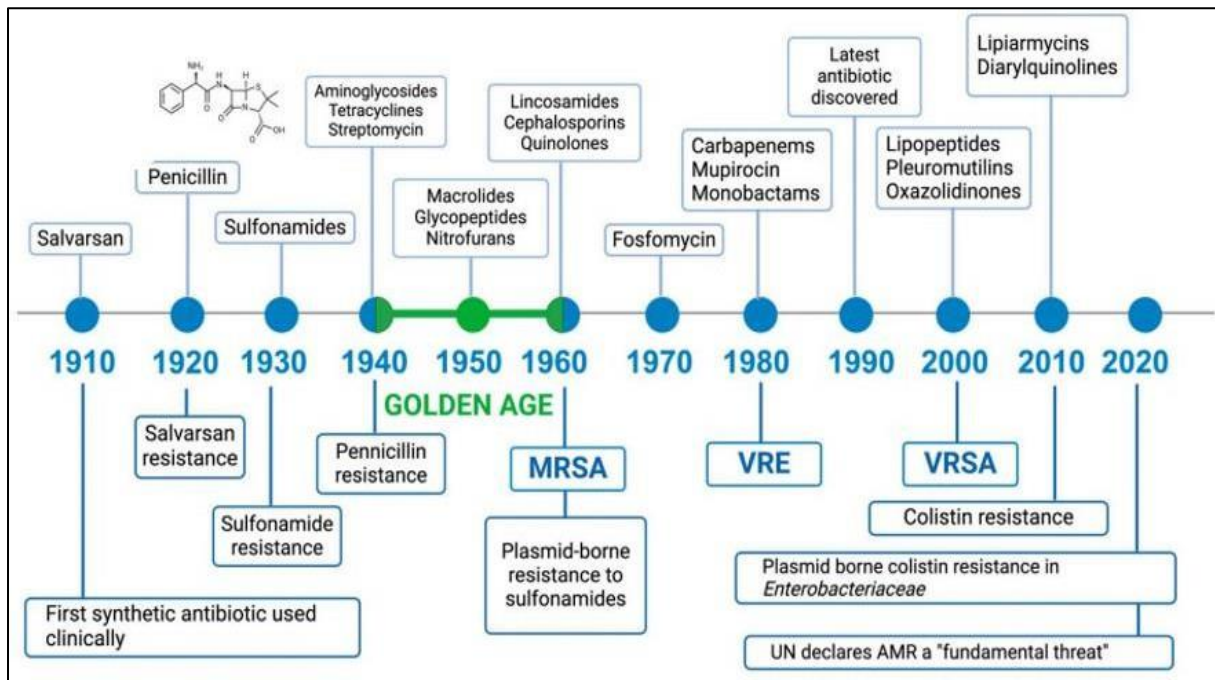


Figure 8. Progression historique de l'utilisation des antibiotiques et développement consécutif des phénomènes de résistance aux antibiotiques (Galgano et al. 2025).

5.3. Les différents types de résistances aux antibiotiques

On distingue deux principales formes de résistance aux antibiotiques : la résistance naturelle (ou intrinsèque) et la résistance acquise.

5.3.1. Résistance naturelle ou intrinsèque

La résistance intrinsèque ou l'insensibilité aux antibiotiques, peut être décrite comme un phénomène naturel, caractéristique propre appartenant à l'ensemble des souches d'une espèce bactérienne et est en fonction de la composition biochimique ou physiologique de cette espèce. Elle fait, donc, partie du patrimoine génétique normal du germe. Cette forme de résistance peut découler d'une mutation des gènes régulateurs ou fondamentaux (évolution verticale), de l'acquisition de gènes de résistance issus d'autres espèces (évolution horizontale), ou encore d'une combinaison de ces deux processus. Cette mutation pourrait ne pas être présente dans toute l'espèce, mais uniquement dans certaines souches de bactéries héréditaires issues d'un seul parent affectée (McManus, 1997 ; Harbottle et al. 2006).

Le chromosome bactérien est le support génétique de la résistance naturelle, qui permet de déterminer la couverture d'activité des antibiotiques. Plusieurs mécanismes ont été mis en lumière. A titre d'exemple on cite :

- Les bacilles Gram-négatifs (et en particulier les entérobactéries et *Pseudomonas aeruginosa*) présentent naturellement une résistance, généralement à faible échelle, aux antibiotiques hydrophobes et/ou de grande masse moléculaire (pénicilline G, pénicilline M, macrolides, rifampicine, acide fusidique, novobiocine, vancomycine) ; en effet, ces derniers ne sont pas en mesure de franchir la membrane externe de leur surface cellulaire.
- De nombreuses bactéries à Gram négatif ont été identifiées comme disposant des systèmes d'efflux constitutifs. Ces processus d'élimination active ont été initialement décrits chez *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Ils se focalisent dans de nombreux antibiotiques dont l'action visée se déroule à l'intérieur des cellules (quinolones, chloramphénicol, macrolides, tétracyclines...) et sont désignés comme des pompes d'efflux multifonctionnels.
- Les PLP (protéines liant les pénicillines) des entérocoques présentent une sensibilité réduite pour les pénicillines M et les céphalosporines, tout comme les PLP des entérobactéries qui montrent une petite sensibilité pour la céfsulodine. Certaines espèces, telles que *Pseudomonas aeruginosa*, produisent instinctivement des β -lactamases (**Philippon et Arlet, 2012**).

5.3.2. Résistance acquise

Bien qu'on observe une multitude de situations de résistance chez les bactéries, le nombre de processus par lesquels ces traits de résistance sont acquis reste restreint. Les gènes qui codent pour les facteurs de résistance bactérienne aux antibiotiques peuvent se trouver sur le chromosome, qui est transmis aux cellules descendantes, et peuvent être diffusés horizontalement *via* des ADN évolutifs tels que les plasmides et les transposons. En d'autres termes, il s'agit de l'acquisition de nouveaux gènes capables de conférer à la bactérie une insensibilité à un antimicrobien ou à un ensemble d'antibiotiques.

Ce processus a pris une telle envergure que la simple identification bactérienne ne suffit plus à anticiper la réaction d'une souche isolée face aux antibiotiques (**Bass et al. 1999**).

5.3.3. Mécanismes génétiques de la résistance acquise

La capacité, héréditaire d'une bactérie comprend, d'une part, le génome essentiel qui est le chromosome, et, d'autre part, un ou plusieurs génomes optionnels et extra-chromosomiques qui sont les plasmides. Les éléments génétiques mobiles et les intégrons portent également des gènes. Une bactérie peut donc développer une résistance aux antimicrobiens via deux principaux processus génétiques. L'un repose sur le chromosome, définissant ainsi une résistance chromosomique, tandis que l'autre est basé sur les plasmides, les éléments mobiles ou les intégrons, établissant une défense extra-chromosomique (**Hardy, 2002**).

a/ Résistance chromosomique

La résistance chromosomique est le résultat d'une mutation ayant les signes suivants (**Hugues et Anderson, 2001**) :

***Rareté :**

La mutation est un processus inhabituel touchant seulement une petite portion des cellules bactériennes dans une vaste communauté.

***Hasard :**

L'antibiotique n'est pas à l'origine de la modification génétique qui se produit aléatoirement. Il se limite à dévoiler et à choisir les bactéries transformées.

***Spécificité :**

Généralement, la mutation ne touche qu'un seul trait tout en préservant les restants. Dans certaines situations, quand cela découle de l'altération d'une séquence de gènes interagissant conjointement (un opéron), cela peut influencer plusieurs traits (mutation, pléiotropie).

***Indépendance :**

Le changement d'un trait spécifique n'influe pas sur le risque de mutation d'un autre attribut. Les mutations sont indépendantes les unes des autres.

***Transmissibilité :**

Ainsi, le caractère obtenu est héréditaire et peut être transmis à la progéniture. Elle est définitive (à l'exception d'une mutation inverse).

b/ Résistance extra-chromosomique : Plasmidique

Les plasmides sont des fragments d'ADN bicaténaires, circulaires et situés dans le cytoplasme, de dimension réduite, qui se dupliquent indépendamment du chromosome et ont la capacité d'être transférés entre diverses bactéries. Le transfert d'un plasmide d'une cellule bactérienne à une autre peut se faire par le biais de la transformation, de la conjugaison ou de la transduction. Bien que les plasmides ne soient pas indispensables à la survie, ils contiennent généralement des gènes qui offrent à l'hôte bactérien un atout précis, comme la virulence, l'adhésion ou les facteurs de résistance aux traitements antimicrobiens (**Harbottle et al. 2006**).

***Les éléments génétiques transportables :**

Les transposons sont des fragments génétiques capables de se mouvoir d'un site à un autre dans l'ADN cellulaire bactérien (à la fois sur le chromosome et le plasmide). Une part importante des

mutations et des réorganisations chromosomiques est attribuable aux transposons. Les transposons ont été découverts grâce aux facteurs de résistance aux antibiotiques qu'ils transportent entre plasmides et chromosomes. De nombreux facteurs de résistance sont diffusés par des transposons assemblés dans diverses variantes bactériennes (**Biémont, 2008**).

***Les intégrons :**

Les intégrons sont des procédés de transformation génétique spécifique qui favorisent la restructuration de gènes en cassettes mobilisables grâce à l'intervention d'une intégrase.

Depuis leur identification dans les années 1980, ils se sont révélés être les transporteurs d'expression naturelle les plus complexes en ce qui concerne la restructuration des gènes de résistance aux antibiotiques. Les intégrons peuvent contribuer à l'évolution accélérée des micro-organismes en assimilant et manifestant de récents gènes provenant d'autres souches microbiennes (**Hallet et Sherratt, 1997 ; Sandoval-Quintana et al. 2023**).

5.3.4. Mécanismes biochimiques de la résistance acquise

Les processus biochimiques de la résistance acquise peuvent être groupés en 3 grandes séries :

a. Diminution de la perméabilité et efflux actif

***Diminution de la perméabilité :**

La réduction de la perméabilité est fréquemment le résultat d'une mutation qui modifie la structure des porines ou qui réduit leur synthèse (**Bonnet, 2004**).

***Efflux actif :**

Des modifications dans les régions contrôlant les opérons des dispositifs d'efflux multi-drogues peuvent entraîner une exacerbation des systèmes d'éjection fondateurs, que ce soit en lien avec ou non une disparition de porines, et accorder une résistance multiple aux remèdes.

b. Modification de la cible des antibiotiques

Elle découle d'une unique mutation au niveau du lieu de liaison de l'antibiotique, entraînant une réduction de l'affinité du β -lactame pour les PLP. L'apparition ou la stimulation de nouvelles PLP à basse sensibilité pour l'antibiotique entraîne la résistance (**Fauchère et Avril, 2002**).

c. Synthèse d'enzymes inactivant les antibiotiques

Des micro-organismes spécifiques peuvent générer des enzymes qui transforment ou fragmentent la molécule d'antibiotique, provoquant ainsi son désactivation. On connaît à présent

ce processus pour les β -lactamines, les Aminosides, le Chloramphénicol et les Streptogramines. On trouve très fréquemment ces souches singulières en milieu clinique (**Cavallo et al. 2007**).

6. Bactéries étudiées

Les maladies allant de l'angine banale aux épidémies de choléra et de peste sont causées par des infections bactériennes. Les bactéries, qui peuvent être à l'origine de graves maladies ou d'une simple colonisation cutanée, sont des micro-organismes d'une souplesse notable. Ces organismes ont la capacité de vivre et de se reproduire dans leur milieu naturel; certains d'entre eux produisent des spores qui peuvent perdurer pendant des périodes prolongées. Un grand nombre de parasites affectent les animaux et n'infectent l'homme que de façon accidentelle. Certains ne parviennent à survivre qu'en étant en étroite relation avec leur partenaire individuel.

Tandis que la plupart des bactéries se multiplient en certaines heures ou jours, il existe d'autres qui se développent beaucoup plus progressivement, provoquant des infections chroniques délicates à soigner. Outre une grande variété d'habitats, les bactéries possèdent une considérable capacité d'adaptation génétique (**Hart et Shears, 1997**).

6.1. Bactéries à Gram positif

6.1.1. *Staphylococcus aureus*

a/ Habitat :

Les Staphylocoques sont des coques Gram-positifs qui cohabitent avec l'Homme, et plusieurs de leurs variétés agissent en tant qu'agents infectieux opportunistes. Elles font partie de la population microbienne normale du corps humain, notamment dans la région antérieure des narines, et peut provoquer des infections chez les personnes dont le système immunitaire est affaibli. Environ 30% des individus sont porteurs permanents de cette bactérie (**Tigabu et Getaneh, 2021**). Le peptidoglycane, qui constitue 50% de la masse des staphylocoques, est essentiel à la formation de la structure épaisse et multicouche de la paroi cellulaire ainsi qu'au maintien de la forte pression osmotique intracellulaire de la bactérie (**Walter et al. 2020**).

Staphylococcus aureus (*S. aureus*), qui est l'espèce la plus virulente parmi celles-ci, est à l'origine de nombreuses infections dont la sévérité varie. Ces infections affectent une grande variété de tissus, allant des simples infections cutanées à la pneumonie, l'endocardite et même la septicémie. L'invasion cutanée comprend non seulement la disposition de la bactérie sur la peau comme élément du microbiome, mais aussi son implantation entre les strates de l'épiderme, l'ajustement de la réaction immunitaire et sa durabilité au sein des cellules immunitaires,

endothéliales et épithéliales. Cette incorporation lui offre une échappatoire totale aux mécanismes de protection immunitaire de ce dernier (**Wertheim et al. 2005**).

Les recherches ont montré que les staphylocoques peuvent acquérir une résistance à des antibiotiques tels que l'érythromycine, l'ampicilline, la tétracycline, la méthicilline et la vancomycine. Le gène *van* confère une résistance à la vancomycine, probablement résultant d'un transfert génétique entre *S. aureus* et des entérocoques résistants à la vancomycine (**Gajdács, 2019**). L'apparition de souches résistantes à plusieurs antibiotiques constitue un enjeu crucial de santé publique, notamment dans les hôpitaux où les souches MRSA (*S. aureus* résistante à la méthicilline) entraînent des infections nosocomiales sévères et compliquées à soigner. Les processus de résistance aux thérapies et la variété des symptômes cliniques sont influencés par l'expression de multiples agents de virulence et les voies de réaction au stress (**Soong et al. 2015**).

b/ Pouvoir pathogène :

L'infection profonde est représentée par des abcès intra-folliculaires de toute la gaine du poil appelés furoncles. Ces récurrences sont parfois liées à des facteurs déclenchant : diabète, surmenage, etc... (**El azhari et al. 2009**). Il existe plusieurs formes d'infections à Staphylocoque à savoir les staphylococcies pleuropulmonaires chez le nourrisson, les staphylococcies urogénitales, les staphylococcies neuroméningées, l'endocardite staphylococcique, les infections ORL à savoir les sinusites, les otites, les abcès et les amygdales (**Wilson, 2008**).

Les septicémies à *S. aureus*, ou encore les staphylococcémies sont causées et entretenues par un foyer infectieux primaire compliqué de thrombophlébite; ce sont des infections fréquentes, d'une gravité préoccupante (**El azhari et al. 2009**).

Les toxi-infections alimentaires sont dues à l'ingestion d'entérotoxines (A et E), préformées dans l'aliment ce qui entraîne des troubles d'apparition précoce (moins de 3 heures) avec vomissements, diarrhée, déshydratation et absence de fièvre. L'évolution est bénigne, sauf en cas de pertes hydro-électrolytiques importantes (sujets âgés, nourrissons) (**Wilson, 2008**).

Les infections dues au *S. aureus* sont courantes et se manifestent de diverses manières cliniques. Le *S. aureus* est capable de provoquer des pathologies cutanées, qu'elles soient résiduelles ou intenses. Une infection superficielle peut se manifester sous la forme d'impétigo, d'onxyxis ou de folliculite. Les furoncles, qui sont des abcès intra-folliculaires affectant l'ensemble de la gaine du poil, illustrent une infection sérieuse. Ces rechutes sont parfois associées à des éléments déclencheurs : diabète, surmenage, etc...

6.1.2. *Bacillus spizizenii*

a/ Habitat :

Bacillus spizizenii (*B. spizizenii*) est une bactérie Gram positive, aéro-anaérobie, catalase positive, sporulée et possède une ciliature péritriche qui la rend mobile. C'est un organisme d'altération des produits alimentaires. Elle est apte à se développer dans de larges gammes de données environnementaux, de sporuler et de confectionner des biofilms. Elle est capable de cannibalisme pour survivre au détriment d'autres cellules. Elle peut également entrer dans un état de compétence c'est-à-dire qu'elle peut capter de l'ADN exogène pour acquérir de nouvelles capacités métaboliques. Par ailleurs, *B. spizizenii* BSB168 est la première bactérie Gram positif dont l'intégralité du chromosome a été séquencée. Son génome est bien annoté et de nombreux outils moléculaires sont disponibles pour cette souche (**Dunlap et al. 2020**).

b/ Pouvoir pathogène :

Les facteurs de virulence de *B. spizizenii* sont sa capsule et sa toxine à trois composants, toutes deux codées sur des plasmides. *B. spizizenii* produit de nombreuses enzymes agressives. Les principaux facteurs de virulence sont une entérotoxine nécrosante et une hémolysine puissante (céréolysine). Les intoxications alimentaires émétiques résultent probablement de la libération par les enzymes bactériennes de facteurs émétiques provenant d'aliments spécifiques par des enzymes bactériennes (**Dunlap et al. 2020**).

6.2. Bactéries à Gram négatif

L'ensemble des *Enterobacteriaceae* comprend des genres de microbes qui sont regroupés en fonction de leurs caractéristiques bactériologiques.

- Il s'agit de bacilles Gram négatifs ; la longueur varie de 1 à 6 µm et la largeur de 0,3 à 1 µm ;
- Ils sont soit mobiles grâce à une ciliature péritriche, soit immobiles ;
- Se forment en conditions d'aéro-anaérobiose et sur une gélose nutritive standard ;
- Acidifient le glucose par fermentation (contrairement aux *Pseudomonas*), souvent avec génération de gaz ;
- N'ayant pas d'oxydase (contrairement aux *Vibrio* et *Pasteurilla*) ;
- Transforment les nitrates en nitrites ;
- Le pourcentage de CG des *Enterobacteriaceae* varie entre 38 et 60% ;

On retrouve fréquemment en milieu médical des bactéries de la famille des *Enterobacteriaceae*. Elles constituent un large ensemble de bacilles à Gram négatif, aérobie-anaérobie facultatifs,

non sporulés, que l'on trouve abondamment dans la nature et qui peuvent faire partie intégrante de la flore intestinale de l'homme et des animaux. Ce groupe de bactéries entériques comprend des bactéries exclusivement pathogènes telles que *Salmonella* et *Shigella*, d'autres jugées comme opportunistes ou parfois pathogènes comme *Proteus* et *Klebsiella*, et enfin des bactéries majoritairement saprophytes du tube digestif qui peuvent causer des infections dans diverses conditions, tel que *Escherichia coli* (*E. coli*) Plus de 30 genres ont été recensé au-delà de 130 espèces d'Enterobacteriaceae (Avril et al. 2000 ; Nauciel et Vildé, 2005).

6.2.1. *Escherichia coli*

a/ Habitat :

E. coli, une bactérie à Gram négatif, en forme de bâtonnet, coliforme et anaérobie facultative, se trouve fréquemment dans le côlon des mammifères à sang chaud. La majorité des souches d'*E. coli* sont des habitants typiques des tractus gastro-intestinaux des humains et des animaux.

E. coli se caractérise par une grande diversité de génotypes pathogènes, classés en pathotypes selon leur capacité à provoquer des maladies. Les souches d'*E. coli* entéro-toxigènes (ETEC) ont été identifiées chez des nouveau-nés souffrant de diarrhée dans les pays en développement, et elles sont responsables d'infections diarrhéiques sécrétoires chez les animaux (Zil-e-Huma et al. 2019).

La présence de cette bactérie dans le sol, l'eau et/ou les aliments témoignent d'une contamination fécale et suggère la possibilité que d'autres bactéries ou virus d'origine digestive s'y trouvent. On considère que leur présence rend l'eau ou les aliments impropres à l'utilisation ou à la consommation (Avril et al. 2000).

b/ Pouvoir pathogène :

Les colibacilles, qui résident normalement dans l'intestin, ne causent habituellement pas d'affection. Toutefois, ils détiennent une capacité pathogène qu'ils manifestent dans des situations spécifiques (pathogènes opportunistes). Il existe deux formes d'infections à *E. coli* : les infections intestinales, qui se manifestent par des diarrhées, et les infections hors de l'intestin.

Les *E. coli* entériques ou intestinaux sont à l'origine de gastro-entérites chez les enfants ou de diarrhée du touriste.

On identifie six pathovars à caractère entérovirulent :

- Les ECEP : *E. coli* entéropathogènes responsables de gastro-entérites infantiles. Elles ne sont ni invasives ni toxiques mais peuvent adhérer aux membranes des entérocytes et

provoquer la destruction de leurs microvillosités. S'ensuit une diarrhée aqueuse importante mais autolimitée.

- Les ECET : *E. coli* entérotoxigènes sont un motif courant de diarrhée chez les enfants dans les états en croissance. Ils sont également souvent à l'origine de la diarrhée du voyageur.
- Les EIEC : *E. coli* entéro-invasifs encore appelés *E. coli shigella-like*, responsables de syndromes dysentériques avec invasion de la muqueuse intestinale.
- Les EHEC : Les *E. coli* entérohémorragiques, qui produisent des toxines de Shiga, sont à l'origine d'épidémies de diarrhées sanglantes d'origine nutritionnelle, susceptibles d'évoluer vers un syndrome hémolytique et urémique chez les enfants.
- Les ECEA : *E. coli* entéroaggrégatifs provoquent une diarrhée récurrente chez les enfants, notamment dans les pays en progression.
- Les ECAD : *E. coli* à adhésion étendue qui pourrait être à l'origine de diarrhées liquides chez l'enfant.
- Les *E. coli* extradigestifs (extra-intestinaux), sont responsables d'infections urinaires (*E. coli* uropathogènes), de septicémies, prostatites, méningites... Ces germes ne produisent pas d'entérotoxines et n'entraînent pas l'apparition de diarrhées (**Kosek et al. 2003 ; Russo et Johnson, 2003**).

6.2.2. *Pseudomonas aeruginosa*

a/ Habitat :

Pseudomonas aeruginosa (*P. aeruginosa*) est un germe ubiquitaire très répandu dans l'environnement qui vit habituellement à l'état saprophyte dans l'eau, les sols humides ou à la surface des végétaux. Elle résiste mal à la dessiccation. Le bacille pyocyanique a la capacité de subsister et de se reproduire dans une multitude de liquides et d'environnements, sur toute sorte de substrat et de matière humide d'où sa persistance dans l'environnement hospitalier. Relativement rare au contact de l'homme, on le retrouve très occasionnellement sur la peau ou les muqueuses ; il peut vivre en commensal dans le tube digestif chez l'homme et chez divers animaux (**Nauciel et Vildé, 2005**).

b/ Pouvoir pathogène :

Le bacille pyocyanique, bien que faiblement virulent pour une personne en bonne santé, devient un organisme infectieux dangereux quand les dispositions immunitaires de l'individu sont affaiblies. *P. aeruginosa* illustre parfaitement le type de bactéries nuisibles opportunistes.

Les individus exceptionnellement vulnérables comprennent les bébés, les personnes d'âge avancé, ceux souffrant d'infections sévères, chroniques ou métaboliques (comme le diabète), mais surtout ceux qui ont des maladies du sang ou le cancer. Les médicaments immunosuppresseurs, les corticoïdes et les anti-métabolites augmentent le risque d'infection par le bacille pyocyanique d'origine intérieure. Concernant les patients brûlés, cette infection représente l'une des principales causes de décès (Avril et al. 2000).

P. aeruginosa est à l'origine d'infections respiratoires pouvant être initiales ou résulter d'une septicémie. Les pneumopathies primaires sont rarement observées chez une personne en bonne santé, mais elles sont communes chez les patients trachéotomisés, les insuffisants respiratoires sous traitement antibiotique fréquent, les malades atteints d'hémopathies ou de cancers qui subissent une chimiothérapie, ainsi que chez les jeunes souffrant de mucoviscidose qui sont souvent sujets à des surinfections bronchiques microbiennes particulièrement par *S. aureus*.

Ils sont la cause d'infections urologiques très courantes; elles ne sont pas d'origine primaire, mais constamment nosocomiales ou iatrogènes, conséquence d'une investigation des voies urinaires. Relativement aux infections cutanées chez une personne en bonne santé, on peut noter la présence d'onxyis, avec périonxyis provoquant l'ongle vert, des infections entre les doigts et des surinfections liées aux lésions de la jambe. Dans le cas des patients brûlés, l'infection des plaies par le bacille pyocyanique se produit aisément.

P. aeruginosa est souvent identifié dans les bactériémies hospitalières (14%), constituant près du quart des bactériémies à Gram négatif (Avril et al. 2000 ; Nauciel et Vildé, 2005).

6.2.3. *Proteus vulgaris*

a/ Habitat :

Le genre *Proteus* est inclus parmi les bactéries normalement présentes dans la flore intestinale humaine, aux côtés d'*E.coli* et des *Klebsiella*. On peut également trouver *Proteus* dans divers environnements : sur le sol, dans les eaux superficielles, dans les eaux usées, ainsi que dans les milieux hospitaliers où il s'installe aussi bien sur la peau que sur la muqueuse orale des patients et du personnel médical. Ces réservoirs sont principalement la source de l'infection. Toutefois, les infections nosocomiales ne sont pas principalement dues aux espèces de *Proteus* (Nauciel et Vildé, 2005 ; Frenod, 2006).

b/ Pouvoir pathogène :

Proteus est à l'origine de 90% des pathologies contractées au sein de la collectivité. Ces germes sont principalement à l'origine des infections urinaires. *P. mirabilis* est sans conteste l'espèce la

plus couramment rencontrée. Des infections pouvant mener à des septicémies peuvent être favorisées par une anomalie de l'appareil urinaire ou le diabète.

On retrouve également ces bactéries dans différents composés pathologiques : sécrétions trachéo-bronchiques, brûlures, pus varié. Des cas de méningite à *Proteus* ont été rapportés chez le bébé.

Il est très contestable que les *Proteus* aient un pouvoir entéropathogène. On retrouve fréquemment ces espèces en abondance dans les excréments lors des épisodes de diarrhée liés à un déséquilibre du microbiote intestinal (Avril et al. 2000 ; Frenod, 2006).

6.2.4. *Salmonella* spp

a/ Habitat :

La catégorie *Salmonella* comprend une grande variété de bactéries responsables d'une multitude de pathologies chez l'hôte. Ces dernières se propagent par la voie fécale-orale, c'est-à-dire par les aliments et l'eau contaminés, provenant de selles de personnes souffrantes ou en récupération (porteurs sains), ou dans les zones où les conditions d'hygiène sont défaillantes (notamment les eaux usées) et où l'accès à l'eau potable est restreint. On retrouve également souvent des *Salmonella* dans les pâtes de poisson ou les poudres d'os employées pour nourrir les animaux. Ces dernières sont principalement des parasites qui se logent dans le système digestif de l'homme et des animaux. On qualifie de sérotypes ubiquitaires ceux qui, contrairement aux précédents, ne présentent pas de distinction d'hôte. Les excréments de ces genres ont le potentiel de polluer le sol et/ou l'eau. Si elles ne peuvent pas se propager de façon notable, elles ont la capacité néanmoins de survivre dans le sol durant de nombreuses semaines, voire des mois, si les paramètres de température, de pH et d'humidité sont propices (Parry, 2006).

b/ Pouvoir pathogène :

L'être humain est l'unique hôte inné et la source d'infection pour le sérotype Typhi de *S. enterica*. Chez des individus porteurs, la valeur infectieuse varie entre 10^3 et 10^9 agents pathogènes. Le sérovar de *S. enterica Typhi* doit traverser la barrière acide de l'estomac pour atteindre les intestins (House et al. 2001 ; Bhan et al. 2002).

Les salmonelles ont la capacité de persister et de se reproduire au sein des cellules mononucléées phagocytaires. Si le traitement antibiotique n'est pas mis en place, la bactériémie causée par la fièvre typhoïde peut durer plusieurs semaines. Au cours de cette étape, le micro-organisme se propage considérablement dans le foie, la rate, la moelle osseuse, la vésicule biliaire et les plaques de Peyer situées à l'extrémité de l'iléon (Everest et al. 2001).

Les toxi-infections alimentaires à *Salmonella* se manifestent par des diarrhées, de la fièvre et des vomissements. L'évolution de ces gastro-entérites est en règle générale spontanément favorables en quelques jours.

- L'observation des entérites engendrées par *Salmonella* se fait majoritairement chez les jeunes enfants. Des épidémies sont capables de se produire au sein de communautés de nourrissons.
- La typhoïde, due à *Salmonella typhi*, est une maladie séptique aiguë qui se caractérise par une infection étendue de l'appareil réticulo-endothélial, du tissu lymphoïde intestinal et de la vésicule biliaire. Cette maladie contagieuse affecte exclusivement l'homme et les individus asymptomatiques agissent comme réservoir pour cette bactérie. Les formes graves se distinguent par une forte fièvre, des douleurs au ventre, de l'inconfort et des céphalées (Freney, 2006).

Les fièvres paratyphoïdes, tout comme la typhoïde, appartiennent à la catégorie des fièvres entériques et sont causées par les souches *Salmonella paratyphi* A, B et C.

Les fièvres paratyphoïdes constituent approximativement 10% des cas de fièvre, tandis que la typhoïde, causée par *Salmonella typhi*, en représente 90%.

On trouve aussi des types de salmonelloses non digestives qui sont moins courants : infections urinaires, cholécystites, méningites, ostéomyélites, spondylodiscites et infections pulmonaires.

Ces formes apparaissent plus fréquemment chez les patients ayant une immunité insuffisante (Parry, 2006).

6.2.5. *Citrobacter freundii*

a/ Habitat :

Les *Citrobacter* sont des micro-organismes qui vivent de manière commensale dans le système digestif des humains et des animaux à sang chaud. On les repère dans l'environnement et dans les eaux. Il est possible qu'ils soient parfois isolés à partir d'urines ou de diverses suppurations (Freney et al. 2006).

b/ Pouvoir pathogène :

Comme un pathogène opportuniste, *Citrobacter freundii* (*C. freundii*) est souvent la cause des infections opportunistes importantes, ce qui signifie qu'il ne cause généralement pas de maladie chez les hôtes humains sains. Il n'affecte que les patients avec un système immunitaire faible. Par conséquent, l'infection par l'espèce *Citrobacter* chez les patients ayant un système

immunitaire affaibli, provoque une grande variété d'infections nosocomiales des voies respiratoires, des voies urinaires, et du sang (Whalen et Mully, 2007). *C. freundii* est également responsable de maladies courantes telles que celles du foie, des voies biliaires et du pancréas. Il est principalement à l'origine des infections au niveau des voies biliaires. *C. freundii* a été, également, lié à une pathologie létale, la méningite néonatale, qui est caractérisée par une inflammation des méninges (le système de membranes protégeant le SNC), suite à une invasion bactérienne générant des pourcentages de mortalité variant entre 25 et 50%. De plus, 75% des survivants continuent à souffrir de troubles neurologiques sérieux (Badger et al. 1999).

6.2.6. *Serratia marcescens* et *Serratia odorifera*

a/ Habitat :

Les bactéries du genre *Serratia* sont présentes dans l'environnement, notamment dans le sol et sur les végétaux. Parmi elles, *Serratia marcescens* (*S. marcescens*) est une espèce omniprésente et constitue la seule à avoir une importance notable comme pathogène opportuniste. Les souches produisant des pigments sont largement répandues dans la nature, mais elles sont rarement retrouvées dans les hôpitaux. En revanche, les souches dépourvues de pigments sont fréquemment isolées en milieu hospitalier et présentent une résistance accrue aux antibiotiques. Par ailleurs, les *Serratia* figurent parmi les entérobactéries les plus résistantes aux agents physiques et chimiques (Araj et al. 1994 ; Avril et al. 2000).

b/ Pouvoir pathogène :

Les *Serratia* présentent une faible pathogénicité chez les individus en bonne santé. Actuellement, elles sont à l'origine d'infections nosocomiales parfois épidémiques, notamment *S. marcescens*. L'espèce la plus fréquemment identifiée dans les infections chez l'homme est *S. marcescens*. Elle est identifiée comme un agent infectieux majeur chez l'homme. Cette souche a été isolée à partir d'une vaste gamme d'échantillons cliniques. Elle est responsable de diverses affections du système nerveux central comme la méningite, les infections urinaires, la pneumonie et d'autres troubles respiratoires, ainsi que de septicémies (*S. marcescens* figure parmi les 10 genres les plus couramment isolés), l'endocardite et une multitude de sortes de blessures. L'emplacement de l'infection est déterminé par le type d'activité du département médical ainsi que par la présence de septicémies, de diarrhées et d'autres échantillons. On a souvent tendance à isoler *S. odorifera* lors d'infections urologiques ou de septicémies. Hormis les infections contractées à l'hôpital, des cas graves d'infections à *Serratia* (endocardites, ostéomyélites) ont été identifiés chez les toxicomanes à l'héroïne (Mahlen, 2011).

6.2.7. *Klebsiella pneumoniae*

a/ Habitat :

Klebsiella pneumoniae (*K. pneumoniae*) est une espèce couramment trouvée dans l'environnement et chez l'être humain. Elle colonise couramment les lèvres, la peau et les intestins humains, et est associée aux infections nosocomiales. Elle est souvent séparée des eaux, du sol et de la flore. On la retrouve dans la flore fécale humaine et elle est fréquemment commensale de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires. Elle peut aussi envahir les plaies et l'urine. Cette bactérie est également connue pour provoquer des pneumonies, des infections urinaires, des infections cutanées et des plaies ouvertes (Chang et al. 2021). Les patients peuvent être infectés soit avec leurs spécifiques souches, soit avec des souches qui sont à l'origine de minuscules épidémies en milieu hospitalier. Elle est donc transportée par la main de patient à patient (Avril et al. 2000).

b/ Pouvoir pathogène :

K. pneumoniae est de loin la plus rencontrée. Elle est isolée principalement de broncho-pneumopathies aiguës ou subaiguës où elle entraîne des modifications dévastatrices telles que la lésion, l'inflammation, les saignements, les expulsions mucoïdes intenses et est à l'origine d'infections urologiques, hépato-biliaires ainsi que de pus variés. Compte tenu de la fragilité du terrain sur lequel elle prospère, les septicémies causées par *Klebsiella* ont une prévision très défavorable. Dans un contexte médical, où elle est fréquemment rencontrée, on la qualifie de « bactéries pathogènes opportunistes » et elle fait généralement preuve d'une multirésistance face aux traitements antimicrobiens (Mandell et al. 2009 ; Nordmann et al. 2009).

6.2.8. *Yersinia entérocolitica*

a/ Habitat :

Yersinia enterocolitica (*Y. enterocolitica*), trouvée chez l'animal (maladie des rongeurs) et dans l'environnement (sol, eaux), est surtout un agent d'infections animales et rarement d'infections humaines. On distingue des souches appropriées à un milieu ou à un hôte (humain ou animal), et des souches non convenables que l'on trouve dans le sol, l'eau et le système digestif des micro-organismes (Dijkshoorn et al. 2007).

b/ Pouvoir pathogène :

La reconnaissance de l'importance médicale de *Y. enterocolitica* ne date que de 1960. Ce microorganisme est principalement à l'origine des entérocolites aiguës et des syndromes pseudo-

appendiculaires qui se manifestent principalement chez les jeunes âgés de 8 à 12 ans. On a noté la présence de polyarthrites inflammatoires allergiques et d'érythèmes gonflés. Ces manifestations extra-digestives seraient le résultat de formes digestives moins prononcées. On les observe de préférence chez des adolescents adultes appartenant au groupe tissulaire HLA-B27. Les septicémies sont considérablement moins fréquentes et touchent généralement les personnes âgées ou affaiblies par le diabète. La capacité de *Y. Enterocolitica* à se développer à +4°C est la raison pour laquelle cette bactérie est à l'origine d'une grande partie des chocs septiques post-transfusionnels, généralement fatals (Morris et al. 2019).

6.2.9. *Pasteurella pneumotropica*

a/ Habitat :

Les *Pasteurelles*, sont des bactéries commensales présentes sur les muqueuses du tractus pulmonaire supérieur et de l'appareil digestif des mammifères et des oiseaux, et sont à l'origine de zoonoses (maladies provoquées par des organismes pathogènes liés aux animaux). Chez les animaux, la présence de *Pasteurelles* est notable et ils restent souvent porteurs sains (cela implique tous les types d'animaux : domestiques, d'élevage, sauvages et exotiques). Il est crucial que l'habitant typique du microbiote oropharyngé soit présent en grande quantité en zone locale. L'infection chez l'homme survient par contact avec les sécrétions rhinopharyngées ou la salive de l'animal, lors de blessures, griffures (on parle alors de pasteurellose d'inoculation) ou léchage de blessures. On retrouve des *Pasteurelles* dans 50% des cas de morsures de chien et 75% des cas de morsures de chat.

Les facteurs facilitant la contamination humaine comprennent toutes les circonstances qui promeuvent un contact rapproché avec des animaux (travail, animaux domestiques, voyages, alimentation, activités de plein air, etc...). La pasteurellose est décrite comme une infection symptomatique causée par *Pasteurella*. Chez les humains, *P. multocida* est souvent isolé et peut causer des infections aiguës ou chroniques. Chez l'Homme, la mortalité due à la *Pasteurella* est rare (surtout si les morsures sont traitées rapidement), tandis que chez les animaux, son incidence sur la morbidité et la mortalité peut être significative (Harper et al. 2006).

b/ Pouvoir pathogène :

En général, l'être humain contracte l'infection par interaction avec des animaux infectés ou malades, que ce soit lors de morsures, griffures, léchage de blessures ou contact avec les sécrétions d'animaux domestiques. *P. multocida*, une espèce de *Pasteurella*, est celle qui est généralement la plus présente dans les affections humaines, notamment dans les cas les plus

graves. L'incubation se fait promptement, avec une durée typique : généralement entre 3 et 6 heures, et jamais plus de 24 heures. Le patient a une plaie hautement inflammatoire, enflée, oedémateuse et souffrante. On peut observer une inflammation sanguine (exsudat purulent). Généralement, une importante concentration de polynucléaires neutrophiles est observée sur le lieu de l'infection et l'inflammation s'intensifie vigoureusement suite à la piqûre. Il est possible qu'une lymphangite soit liée à une adénopathie. Des problèmes peuvent survenir, il est indispensable de toujours suspecter une arthrite ou une ostéite. Sans intervention, l'évolution pourrait mener à une forme subaiguë (téno-synovite des extenseurs des doigts, arthrite réactionnelle, dans un délai de 4 à 6 semaines) (**Hayashimoto et al. 2005**).

Chez les patients dont le système immunitaire est affaibli (cancer, hémopathie, cirrhose, splénectomie), on court le risque d'une progression vers un état systémique. Dans les cas graves, la pasteurellose progresse rapidement vers une bactériémie suivie d'un choc septique. On observe parfois d'autres complications, notamment des ostéomyélites, des endocardites et des méningites. D'autres sites ont été identifiés comme étant des infections respiratoires ou abdominales. Les symptômes respiratoires sont moins fréquents et se manifestent chez le patient qui a déjà une affection pulmonaire. Dans ces situations, on a décrit des types de pneumonie simultanée donc des abcès. Ces infections systémiques entraînent une mortalité qui s'élève à 25-30% (**Finlay et Falkow, 1997 ; Wilkie et al. 2012**).

6.2.10. *Acinetobacter baumannii*

a/ Habitat :

L'espèce la plus couramment isolée dans les environnements sanitaires est *Acinetobacter baumannii* (*A. baumannii*). Présente de manière omniprésente, cette bactérie se retrouve principalement dans le sol et l'eau (notamment les eaux usées), mais peut aussi être isolée dans le lait, les produits laitiers et divers aliments. On l'isole fréquemment chez l'homme : peau, salive, urine, conjonctive. Elle est incluse parmi les bactéries résidentes qui composent la flore de la peau. Dans le milieu sanitaire, il existe de nombreuses sources d'infection par *Acinetobacter*. Ce micro-organisme a la capacité de s'installer sur divers matériaux : des respirateurs, des humidificateurs, des lavabos, des savons et des antiseptiques. Elle peut être transmise par les mains de l'employé médical et la plupart des infections sont contractées à l'hôpital. La présence fréquente d'*Acinetobacter* sur la peau des patients hospitalisés, ainsi que chez des individus en bonne santé, ne nous permet pas de déterminer de manière définitive s'il s'agit de bactéries commensales ou de polluants (**Avril et al. 2000**).

b/ Pouvoir pathogène :

On considère parfois les *Acinetobacter* comme de simples contaminants des échantillons. Toutefois, ils sont à l'origine de méningites sévères, de septicémies, de pleurésies, de conjonctivites, de sinusites, de suppurations cutanées, d'infections urinaires, d'ulcérations intestinales et de péricardites dans plusieurs situations. Les suppurations à *Acinetobacter* peuvent survenir notamment en chirurgie osseuse par surinfection de plaies provenant de la pose de prothèses (hanche), de broches, d'enclouages. Dans les infections respiratoires *Acinetobacter* peut être isolé lors de pleurésies, pneumonies, dans les crachats et aspirations de malades en réanimation (Wilson, 2008).

7. Activités biologiques des extraits de plantes

7.1. Activité antibactérienne

Les plantes médicinales ont suscité un intérêt considérable en raison de leur potentiel à lutter contre les micro-organismes multirésistants (MDR), grâce à leurs divers mécanismes biochimiques et moléculaires. La Fig. 9 illustre le mécanisme antibactérien qu'elles utilisent pour combattre les MDR. Ces mécanismes diffèrent souvent de ceux des antibiotiques conventionnels, ce qui en fait des alternatives prometteuses dans la lutte contre la résistance aux antimicrobiens (Gonelimali et al. 2018 ; Jubair et al. 2021 ; Abass et al. 2024).

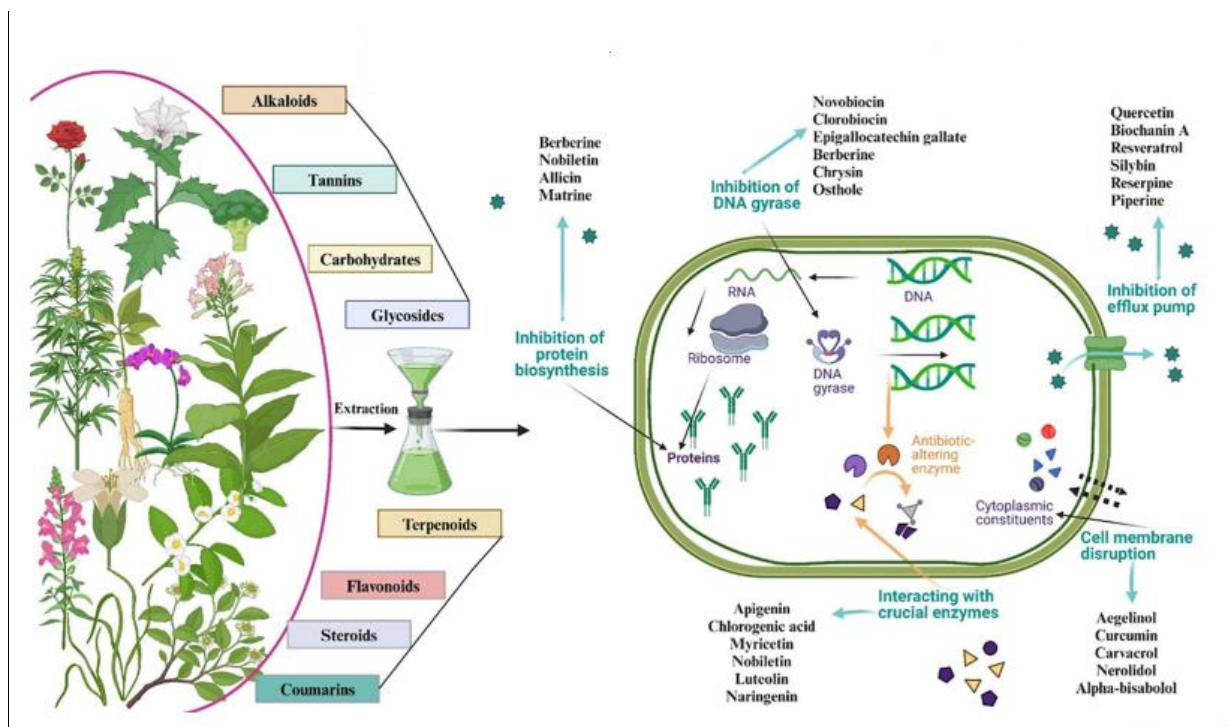


Figure 9. Mécanisme antibactérien des plantes médicinales contre la résistance aux multi-médicaments (MDR) en tant qu'alternatives naturelles aux antibiotiques (El-Saadony et al. 2025).

À la lumière de l'utilisation croissante de la phytothérapie comme alternative aux antibiotiques traditionnels et de la prolifération des bactéries résistantes aux antibiotiques, de nombreuses études ont été menées sur les propriétés antibactériennes des plantes médicinales. Ces plantes médicinales sont reconnues pour posséder un potentiel chimique bioactif important encore inexploité (**El-Saadony et al. 2025 ; Gonelimali et al. 2018**). En effet, les plantes médicinales contiennent de nombreux composés actifs, qu'elles soient fraîches, séchées ou broyées. Ceux-ci constituent les principes essentiels de la phytothérapie. En revanche, la majorité des médicaments pharmaceutiques conventionnels, y compris ceux dont les composants sont dérivés de plantes médicinales, fonctionnent comme un marqueur chimique avec un ingrédient actif unique (**Cardoso et al. 2019**).

De nombreux composés bioactifs présents dans les plantes médicinales, notamment les terpénoïdes, les flavonoïdes et les alcaloïdes, interagissent avec les membranes cellulaires microbiennes, entraînant une altération structurelle. Ces composés peuvent augmenter la perméabilité membranaire, provoquant ainsi la sortie des constituants cellulaires et la mort cellulaire qui s'ensuit (**Abass et al. 2024 ; Jubair et al. 2021**). Des composés tels que le carvacrol (dérivé de l'origan) et le thymol (extrait du thym) compromettent la bicouche lipidique des membranes bactériennes, affaiblissant leur intégrité structurelle (**Gonelimali et al. 2018**).

Les composés issus des plantes médicinales peuvent inhiber des enzymes essentielles à la survie microbienne, notamment l'ADN gyrase, la topoisomérase et la bêta-lactamase. Les alcaloïdes et les acides phénoliques se fixent aux sites actifs de ces enzymes, entravant la réplication de l'ADN et la division cellulaire. Les phytoconstitués bioactifs interfèrent avec le métabolisme bactérien par plusieurs mécanismes. Les bioflavonoïdes peuvent inhiber les ATPases F1 ou F1Fo associées à la membrane chez *E. coli* (**Zhou et al. 2023**).

De nombreux produits chimiques dérivés de plantes, notamment les quinones et les polyphénols, produisent des espèces réactives de l'oxygène dans les cellules microbiennes, dépassant leurs défenses antioxydantes et induisant des dommages oxydatifs. Les espèces réactives de l'oxygène endommagent l'ADN, les protéines et les lipides, entraînant l'apoptose cellulaire. L'efficacité antibactérienne de la catéchine contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives est attribuée à l'induction d'espèces réactives de l'oxygène suite à la perméabilisation de la membrane (**Kosalec et al. 2022**).

Certaines plantes médicinales renforcent le système immunitaire de l'hôte, améliorant ainsi sa capacité à combattre les micro-organismes multirésistants (MDR). Les polysaccharides et les

saponines activent les cellules immunitaires, notamment les macrophages et les neutrophiles, pour phagocyter les infections. Les immunostimulants naturels, tels que les probiotiques et les médecines traditionnelles chinoises, sont de plus en plus utilisés comme additifs alimentaires pour animaux afin de gérer les infections à *Salmonella pullorum* (Shen et al. 2024).

7.2. Activité antioxydante

On définit une molécule antioxydante comme une substance qui, lorsqu'elle est présente à des concentrations inférieures par rapport à celles d'un substrat oxydable, ralentit ou bloque de manière significative l'oxydation de ce dernier. Pour contrôler ces réactions d'oxydation, le corps dispose de ses propres mécanismes de défense antioxydante. Les systèmes enzymatiques, y compris les superoxydes dismutases, les catalases et les glutathions peroxydases, sont identifiés comme étant les plus efficaces pour la détoxification des espèces réactives de l'oxygène. En revanche, les systèmes antioxydants non enzymatiques majeurs incluent le glutathion, l'acide urique, le coenzyme Q10 ainsi que l'acide alpha-lipoïque. De plus, de nombreuses recherches s'accordent actuellement sur le rôle crucial des antioxydants exogènes fournis par l'alimentation dans la bataille contre les affections liées au stress oxydatif. Essentiellement dérivés de sources végétales, ces antioxydants sont fournis sous forme de composés phénoliques, de vitamines (comme l'acide ascorbique et le α -tocophérol) et de caroténoïdes (Frankel et al. 1993).

Dans une certaine mesure, l'organisme peut réduire les dégâts causés par les radicaux libres en utilisant des mécanismes de défense à la fois enzymatiques et chimiques. On nomme antioxydants les molécules ou microconstituants susceptibles de contrecarrer l'action des radicaux libres. Un antioxydant de qualité doit répondre à certains critères :

- avoir la capacité de cibler précisément et directement les radicaux libres ;
- chélation d'ions de métaux de transition (Fe^{2+} , Cu^{+}) ayant une importance biologique et étant susceptibles d'encourager la production de radicaux libres par le biais de la réaction de Fenton ;
- avoir un impact bénéfique sur l'expression des gènes ;
- être vite assimilé ;
- avoir une concentration qualifiée de « physiologique » dans les tissus et les liquides biologiques ;
- être performant dans un environnement aqueux et/ou dans le milieu membranaire (Valko et al. 2006) ;

Il existe diverses techniques pour évaluer l'activité antioxydante des aliments et des systèmes biologiques. On peut les ranger en deux catégories selon les processus impliqués : soit par le déplacement d'un atome d'hydrogène, soit par le déplacement d'un simple électron. On utilise les méthodes du premier groupe pour examiner la peroxydation lipidique, en recourant à un substrat lipidique ou lipoprotéine. L'évaluation de cette caractéristique se fait par la mesure du niveau d'inhibition de l'oxydation. Les techniques du second groupe sont celles qui entrent en jeu lors de l'évaluation de la capacité à piéger les radicaux libres. Cela inclut l'analyse du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), de l'acide hypochloreux (HOCl), de l'hydroxyle (OH), des anions superoxyde (O⁻²), du peroxyde (ROO) et de l'oxyde nitrique (NO).

Parmi ces techniques, on cite (**Sanchez-Moreno, 2002**) :

- ✓ ORAC (Capacité d'absorbance du radical de l'oxygène) ;
- ✓ ABTS (2,2-azinobis (3-éthyle-benzothiazoline-6-sulphonate) ou TEAC (Capacité antioxydante équivalente de Trolox),
- ✓ FRAP (Capacités réductrices ferriques d'antioxydants) ;
- ✓ Radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ;
- ✓ DMPD (Balayage du radical cation N, N- diméthyl-ρ-phenylenediamine) ;
- ✓ TOSC (Capacité du piégeage des oxy-radicaux totaux) ;
- ✓ TRAP (Paramètre du piégeage du radical total) ;
- ✓ PCL (photochimiluminescence) ;

7.3. Activité anti-hémolytique

a/ L'hémolyse :

L'hémolyse est un processus irréversible durant lequel les globules rouges se décomposent et libèrent leur contenu cellulaire, y compris l'hémoglobine (Hb). Le contrôle du niveau d'hémolyse peut dépendre :

- des éléments internes à la cellule : l'intégrité de la membrane, le métabolisme énergétique interne, la constitution de l'hémoglobine ;
- des facteurs externes à la cellule : comme le plasma, la condition anatomique du système circulatoire et le fonctionnement du système mononucléo-phagocytaire (comprenant les macrophages, les monocytes et leurs cellules souches) ;

On peut distinguer deux types d'hémolyses, l'une est physiologique, l'autre est pathologique (hyper hémolyse) (**Lippi et al. 2011**).

b/ Hémolyse physiologique :

Cette hémolyse physiologique se produit principalement à l'intérieur des tissus, mais une petite portion de l'hémolyse physiologique a lieu dans le système circulatoire. Les macrophages du système des phagocytes mononucléés phagocytent les globules rouges âgés. Chez un individu normal, la plupart des globules rouges sont éliminés par les macrophages de la moelle osseuse. L'organisme répartit le reste de l'hémolyse, principalement dans la rate et le foie. Cette phagocytose concerne des globules rouges dont le vieillissement s'est manifesté par :

- ✓ des changements biochimiques : réduction de la teneur en enzymes, diminution du métabolisme, disparition des lipides membranaires, processus oxydatifs ;
- ✓ dérèglement des échanges ioniques : accroissement du passage de Na⁺ dans la cellule et réduction de la concentration de K⁺ à l'intérieur de celle-ci ;
- ✓ modifications morphologiques, telles que la tendance vers la sphéricité due à la réduction de la surface membranaire et/ou l'hyperhydratation ;
- ✓ des altérations de la plasticité (réduction de la capacité déformable des globules rouges entraînant une immobilisation dans les capillaires) (**Beaumont et Canonne-Hergaux, 2005**) ;

c/ Hémolyse pathologique :

C'est l'élimination prématurée et excessive des globules rouges circulants due à un processus d'hémolyse, qui peut être de nature intrinsèque (hémolyse corpusculaire) ou extrinsèque (hémolyse extra-corpusculaire). Ce processus peut être soit congénital, soit acquis, et il touche toujours l'un des éléments essentiels du GR : membrane, enzyme ou hémoglobine (Hgb) (**Garrigues, 2021**).

d/ Hémolyse d'origine corpusculaire :

Les raisons sont, une fois de plus, diverses, l'origine héréditaire (constitutionnelle) étant généralement la norme.

- Anomalie de la membrane des globules rouges ;
- Sphérocytose héréditaire (aussi appelée maladie de Minkowski-Chauffard) ;
- Elliptocytose héréditaire ;

Elle se distingue par la présence sur les frottis de plus de 15% de globules rouges ayant une forme ovale. L'anémie peut être variable, si elle est présente, on peut noter une hausse de la fragilité osmotique des globules rouges face aux solutions hypotoniques ainsi qu'une auto-hémolyse spontanée des globules rouges (**Garrigues, 2021**).

e/ **Hémolyse d'origine extracorporelle** :

Elles peuvent avoir des origines variées, généralement acquises :

- hémolyse due à des causes mécaniques : l'hémolyse se produit à l'intérieur des vaisseaux sanguins, les globules rouges sont soit détruits soit fragmentés en raison d'obstacles mécaniques ou de turbulences hémodynamiques (prothèses cardiaques, circulation extracorporelle). L'anémie est habituellement de degré moyen et se distingue par la présence de schizocytes sur le frottis ;
- hémolyse due à une infection : une hémolyse parfois importante peut survenir lors d'infections bactériennes (*Clostridium perfringens*, streptocoque, staphylocoque) ou parasitaires telles que le paludisme (*Plasmodium falciparum*) ;
- hémolyse causée par des toxines : provenant de sources industrielles (aniline, nitrobenzène...), animales (poisons), végétales (champignons) ;
- hémolyse de cause immunologique : l'hémolyse extracorporelle figure parmi les raisons les plus courantes, et on y trouve notamment une :
 - anémie hémolytique auto-immune liée à la présence dans le sérum d'autoanticorps dirigés contre des déterminants antigéniques présents à la surface des GR ;
 - anémie hémolytique d'origine médicamenteuse faisant intervenir, là encore, un mécanisme immunologique ;
 - anémie hémolytique après accident transfusionnel (**Garrigues, 2021**) ;

Au cours des anciennes années, l'exploration de nouvelles substances anti-hémolytiques dérivées des plantes connaît un développement florissant. De nombreux centres de recherche à l'échelle mondiale ont mené des enquêtes dans cette direction. Le Tableau 2 illustre certains exemples de plantes ayant des propriétés anti-hémolytiques (**Belkhiri et al. 2017**).

Tableau 2. Exemples de plantes anti-hémolytiques (Belkhiri et al. 2017).

Matrice végétale	Partie utilisée	Activité antihémolytique ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Références
<i>Piper betel</i>	Feuilles	40.60% à 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$	Chakraborty et Shah (2011)
<i>Hyssopus angustifolius</i>	Fleurs	65.3% à 2.32 d'extrait	Sayed et al. (2012)
<i>Piper longum</i>	Graines	60.3% à 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$	Adwaid et al. (2017)
<i>Cassia auriculata</i>	Fleurs	65% à 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ d'extrait	Rani et al. (2014)
<i>Sonchus oleraceus</i>	Partie aérienne	85.6% à 1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$	Joujeh et al. (2017)
<i>Psidium guajava</i>	Feuilles	91.5% à 3.25 d'extrait	Thephinlap et al. (2013)
<i>Pandanous odorus</i>	Feuilles	83.25% à 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ d'extrait	Thephinlap et al. (2013)
<i>Rhinacanthus nasutus</i>	Feuilles	77.88% à 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ d'extrait	Thephinlap et al. (2013)
<i>Coriandrum sativum L.</i>	Feuilles et graines	Feuilles 88.83% à 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ et Graines 86.73% à 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$	Rajeshwari et al. (2012)
<i>Hildegardia populifolia</i>	Feuilles et Racines	Feuilles 71.90% Racines 52.63%	Saradha et al. (2013)
<i>Gymnema sylvestre</i>	Tige et feuilles	IC50=29.83 g/ml	James et Alewo (2014)
<i>Nigella sativa</i>	Graines	60.62%	Mosbah et al. (2015)

Matériel et Méthodes

1. Matériel biologique

1.1. Matériel végétal

A. halimus et *H. scoparium* (Fig. 10) sont récoltés dans la région d'Adrar en Algérie au cours de l'année 2019 [27° 52' 0" Nord, 0° 16' 60" Ouest]. Ces deux plantes appartiennent à la famille des *Amaranthaceae*. Cette famille est particulièrement abondante en Afrique et également dans le continent américain ; il s'agit de plantes herbifuges qui peuvent être périodiques ou résistantes, et plus rarement, des hortensias ou des plantes ascendantes.

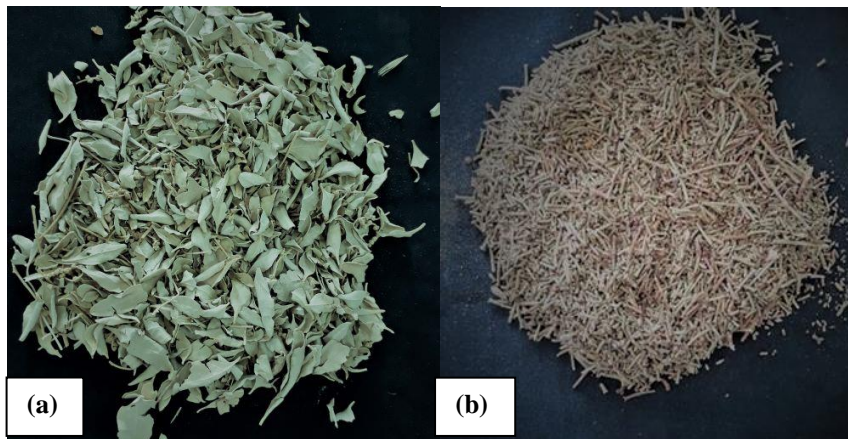


Figure 10. (a) *Atriplex halimus* (b) *Haloxylon scoparium*

1.2. Souches bactériennes

Les souches bactériennes utilisées dans cette étude comprennent un total de 27 souches cliniques: bactéries à Gram positif et bactéries à Gram négatif : 3 *Escherichia coli*, 3 *Citobacter freundii*, 2 *Serratia marcescens*, 1 *Serratia odorifera*, 3 *Klebsiella pneumoniae*, 3 *Yersinia enterocolitica*, 3 *Proteus vulgaris*, 3 *Pseudomonas aeruginosa*, 2 *Pasteurella pneumotropica*, *Acinetobacter baumannii*.

Les souches de références (ATCC) suivantes ont été également utilisées: *Escherichia coli* ATCC 29522, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29553, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus aureus* ATCC29523, *Salmonella spp* ATCC 14028, *Proteus vulgaris* ATCC6380, *Bacillus spizizinii* ATCC 66033. Ces souches ont été fournies par l'Institut Pasteur Alger (Annexe 3).

1.3. Prélèvement sanguin

Un prélèvement de sang humain sur tubes héparines a été réalisé dans un laboratoire d'analyses médicales dans le but de réaliser le test anti-hémolytique.

2. Méthodes

2.1. Préparation des extraits aqueux

Environ 10 g de la poudre des plantes sont mélangés avec 100 ml d'eau distillée bouillante dans une bouteille en verre ; après refroidissement, l'infusion est éliminée par filtration sur papier Wathman. Le filtrat est séché au four ; la poudre ainsi obtenue est récupérée puis stockée à 4 °C jusqu'à 6 mois.

Une solution mère de 100 mg de poudre de plante préalablement obtenue est préparée dans 1 ml d'eau distillée stérile. Les dilutions sont préparées selon la méthode de dilution à progression géométrique à raison deux. Le rendement d'extraction (%), est calculé comme suit :

$$\text{Rendement (\%)} = Mo / M \times 100$$

R (%) : Rendement exprimé en %,

M : Masse en gramme de l'extrait sec résultant.

Mo : Masse en gramme du matériel végétal.

2.2. Détermination de la composition phytochimique

2.2.1. Composition en minéraux

La composition minérale des échantillons a été déterminée comme suit :

- Dans un premier temps un mélange d'acide nitrique et perchlorique (10 ml) est ajouté à 0,5 g de chaque échantillon ;
- La solution obtenue est diluée dans l'eau distillée ;
- Le taux des différents minéraux (SO₄⁻², TN, TP, Cl⁻, Na, K, CA⁻², Mg⁺²) est estimé à l'aide d'un ICP OES (Inductively Couple Plasma spectrophotometer) (Perkin-Elmer, Optima 4300 DV, ICP/OES, Shelton, CT 06484-4794, USA) ;

2.2.2. Dosage des polyphénols totaux

a) Principe

L'évaluation de la quantité totale de polyphénols dans les extraits végétaux est réalisée par la méthode Folin-Ciocalteu.

Le réactif de Folin-Ciocalteu se compose d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Lors du processus d'oxydation, il se transforme en un mélange d'oxyde de couleur bleue. L'extrait examiné produit une coloration qui est proportionnelle à la concentration de polyphénols qu'il contient (Singleton et al. 1999).

b) Protocole

On ajoute 200 µl de solutions d'extraits à diverses concentrations à 1 ml du réactif Folin-Ciocalteu (10 %). Au bout de 4 minutes, on ajoute 800 µl de carbonates de sodium (75 g/l). On laisse le mélange réagir pendant deux heures à température ambiante, puis l'absorbance est déterminée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre VIS-7220G.

La courbe d'étalonnage, qui sert à déterminer la teneur des polyphénols totaux dans les extraits, est établie en utilisant l'acide gallique (5-200 µg/ml) comme standard. Les données sont présentées en microgrammes d'équivalents d'acide gallique par milligramme de matière extraite (µg EAG/mg d'extrait) (Singleton et al. 1999).

2.2.3. Dosage des flavonoïdes

a) Principe

Le dosage des flavonoïdes dans les extraits aqueux a été réalisé selon Bahorun et al. (1996) par la technique du trichlorure d'aluminium (AlCl₃), qui repose sur la synthèse d'une combinaison aluminium-flavonoïde.

b) Protocole

L'ALCL₃ (2% dans le méthanol) est mélangé avec 5 ml des échantillons des plantes. Après une période d'incubation de 10 min à l'ombre, l'absorbance est mesurée à 415 nm. La concentration des flavonoïdes dans les extraits est déduite d'une courbe d'étalonnage établie avec la quercétine.

2.2.4. Dosage des tanins

a) Principe

L'analyse des tanins condensés également connus sous le nom de proanthocyanidines.

La technique implique la dépolymérisation des tannins dans un environnement acide suite à leur réaction avec la vaniline, dans le but de les convertir en anthocyanidols rouges aisément quantifiables à 500 nm (Hoste et al. 2006).

b) Protocole

1500 µl de solution de vanilline (4%) sont ajoutés à 25 µl d'extraits d plantes et 750 µl d'acide chlorhydrique concentré. La solution est incubée pendant 15 min ; l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 500 nm. La catéchine (10 - 300 µg/ml) a été utilisée pour établir la courbe d'étalonnage afin de calculer la concentration de tanins condensés dans les extraits.

Les résultats ont été exprimés en microgrammes d'équivalents de catéchine par milligramme d'extrait (µg EC/mg extrait).

2.2.5. Dosage des alcaloïdes

a) Principe

Le dosage des alcaloïdes repose sur une extraction sélective en milieu alcalin et acide, suivie d'une purification et d'une quantification par méthodes gravimétriques, colorimétriques ou chromatographiques, utilisant des réactifs spécifiques et des standards connus (**Sreevidya et Mehrotra, 2003**).

b) Protocole

Une quantité de 5mL de solution d'extrait a été prise et le pH a été maintenu entre 2 et 2,5 avec du HCl dilué. 2mL du réactif de Dragendorff y est ajouté et le précipité formé a été centrifugé. On a vérifié la précipitation complète du centrifugat en y ajoutant du réactif de Dragendorff. Le mélange centrifugé a été complètement décanté. Le précipité a été lavé avec de l'alcool. Le filtrat a été jeté et le résidu a ensuite été traité avec 2mL de solution de sulfate di-sodique. Le précipité noir brunâtre formé a ensuite été centrifugé. L'achèvement de la précipitation a été réalisé en ajoutant 2 gouttes de sulfate de disodium. Le résidu a été dissout dans 2mL d'acide nitrique concentré, avec réchauffement si nécessaire. Cette solution a été diluée à 10 mL avec de l'eau distillée. Puis 1 mL de cette solution diluée a été prélevé et 5 mL de solution de thio-urée y ont été ajoutés. L'absorbance a été mesurée à 435 nm (**Bouzi et al. 2011**).

2.2.6. Dosage des saponines

a) Principe

La détermination quantitative des saponines dans les extraits de *Clematis flammula* a été réalisée suivant la méthode de **Ncube et al. (2011)**.

b) Protocole

- Préparation des extraits de plantes à 1,2 mg/ml dans 50% méthanol ;
- Mélanger 250 µl de la solution d'extrait de plantes à l'acide oléanolique (10 mg/ml) ;
- Ajouter 250µl vanilline à 8% ;
- Ajouter 2,5 ml acide sulfurique à 72% ;
- Bien mélanger avec le vortex ;
- Incuber au bain Marie à 60 °C pendant 10 min ;
- Refroidissement pendant 4 min ;
- Lecture de la DO à une longueur d'onde de 544 nm ;

2.2.7. Dosage des composés phytochimique par HPLC

a) Principe

La chromatographie est une technique de séparation physico-chimique des constituants d'un mélange, basée sur leur distribution différentielle entre une phase stationnaire fixe, sur laquelle les molécules sont adsorbées, et une phase mobile (éluant) qui les entraîne à des vitesses différentes selon leurs affinités respectives avec ces phases ; cette partition dynamique permet de séparer les composants du mélange, qui sont alors récupérés en fractions distinctes, optimisant ainsi la résolution et la pureté des analytes grâce à un contrôle précis des interactions moléculaires et des conditions d'élution (Malviya et al. 2010).

b) Protocole

Dans la présente étude, nous avons employé la chromatographie liquide haute performance (HPLC). L'identification des composés phénoliques des extraits aqueux a été réalisée par un appareillage HPLC (SHIMADZU, France) équipé d'une colonne Zorbax Eclipse XDB-C18 de 250 mm de longueur et de 4,6 mm de largeur, qui est remplie d'une phase stationnaire (5 µM) de silice greffée C18. Les extraits ont été dissous dans la phase mobile (acétonitrile), puis 10 µL ont été injectés directement à l'entrée de la colonne. Le débit de phase mobile était de 1 ml/min. Les échantillons ont été élués avec un gradient d'acétonitrile (éluant A) et d'acide acétique à 0,1 % (v/v) / H₂O ultra-pure (éluant B) préalablement dégazée à l'eau. La durée totale de l'analyse était de 70 min.

Le programme d'élution était le suivant : 95 A/5 B (0 min) ; 5 A/95 B (65 min) ; 95 A/5 B (70 min). Les profils chromatographiques des composés phénoliques ont été suivis à 254 nm.

L'identification des composés a été obtenue en comparant les valeurs du temps de rétention à celles des étalons.

2.3. Méthodes microbiologiques

2.3.1. Techniques de prélèvements, d'isolement et d'identification des souches

Les souches cliniques ont été isolées des urines de patients qui présentaient une infection des voies urinaires. La technique utilisée est l'examen cyto bactériologique (ECBU).

L'identification et l'isolement des souches ont été effectués par les équipes du laboratoire central de Microbiologie du CHU Dorban, ainsi que par celles de chaque laboratoire où ces dernières ont été isolées.

Toutefois, tous les isolements et identifications ont été refaits et validés au sein du laboratoire de Biochimie et Microbiologie Appliquées du Département de Biochimie, en employant des milieux de culture sélectifs pour l'isolement des différentes souches bactériennes : gélose nutritive, gélose Mac Conkey, gélose Hecktoen, gélose Chapman.

La purification et l'identification des souches ont été réalisées selon les méthodes conventionnelles.

Suite à l'incubation, on inspecte l'apparence des colonies qui se sont développées sur les milieux de culture. Quand les boîtes contiennent différents types de colonies, on purifie la souche en effectuant plusieurs repiquages successifs.

L'identification des souches a été réalisée selon les étapes suivantes : (Annexe 2)

- observation de l'état frais ;
- coloration de Gram ;
- test de l'oxydase ;
- test de la catalase ;
- identification par le système API, (API 20E, API STAPH) ;

Les boîtes sont ensuite ensemencées avec la suspension bactérienne, les disques d'antibiotique sont fixés à la surface. Les boîtes de Pétri sont incubées dans l'étuve pendant 24h.

2.3.2. Profil de résistance aux antibiotiques

a) Principe

L'antibiogramme est un test qui permet la détermination de la sensibilité d'une souche microbienne à un panel d'antibiotiques ou à un antibiotique donné. Pour le réaliser, le microorganisme est mis en présence du ou des antibiotiques et le test révèle la capacité de ce microorganisme à se développer ou non en présence du ou des antibiotiques.

b) Protocole

- Le milieu Muller Hinton est coulé dans les boîtes de Pétri stériles ;
- La suspension bactérienne est préparée dans un bouillon nutritif et ajustée à l'échelle de Farland de 0,5 mc en mesurant la densité optique à une longueur d'onde de 600 nm ($\lambda = 0,08 - 0,1$) correspondant à 10^8 CFU / ml ;
- Un total de 8 antibiotiques standards : Amikacine (AK), Cefotaxime (CAZ), Erythromycine (ERY), Gentamycine (GEN), Imipenème (IMI), Oxacilline (OX), Penicilline G (PENI G), Vancomycine (VANCO) a été utilisé afin de déterminer l'antibiogramme des souches étudiées

selon la méthode de Kirby : diffusion du disque en milieu solide dans le respect des recommandations du **CLSI (2020)** ;

- Le semis doit être effectué dans les 15 min suivant la préparation de l'inoculum ;
- Utilisez un écouvillon stérile trempé dans la suspension bactérienne pour couvrir l'intégralité de la surface de la boîte en frottant ;
- Vérifier la liste des antibiotiques recommandés en fonction de la bactérie identifiée. Respecter une distance de 24 mm entre les disques d'antibiotiques, du centre au centre ;
- Utiliser une pince bactériologique stérile pour appliquer chaque disque d'antibiotique en le pressant. Une fois en place, le disque ne doit pas être déplacé ;
- Incuber à 37 °C pendant 18 heures ;

c) Lecture :

L'interprétation est réalisée en évaluant minutieusement les diamètres des zones d'inhibition en utilisant un pied à coulisse, hors de la boîte scellée.

Comparer ces résultats avec les valeurs critiques présentes dans les tables de référence.

Classifiez la bactérie dans l'une des catégories suivantes : Sensible, Intermédiaire ou Résistante.

2.3.3. Aromatogramme

❖ **Préparation des dilutions**

Chacun des deux extraits aqueux des deux plantes a été dissous dans de l'eau distillée stérile à raison de 100 mg/ml. Une solution mère de 100 mg de poudre des deux plantes est préparée dans 1 ml d'eau distillée stérile. Les dilutions sont préparées en utilisant la méthode de dilution à progression géométrique à raison de deux aux concentrations de 25, 50, 75, 100 mg/ml.

❖ **Réalisation du test de l'aromatogramme**

a) Principe

L'aromatogramme est une méthode *in vitro* inspirée de l'antibiogramme, qui permet d'évaluer et de mesurer le pouvoir antibactérien des extraits ou huiles essentielles des plantes sur une bactérie donnée. Cette technique permet d'observer leur capacité à inhiber la croissance microbienne (**Ahmad et Beg, 2001**).

b) Protocole

- Préparer le milieu Muller-Hinton et autoclaver à 120°C pendant 20 min ;
- Préparer un inoculum à partir de chaque bactérie ;

- Tremper l'écouvillon dans une suspension de bactéries en phase de croissance exponentielle, qui est ensuite essorée en appuyant fermement contre la paroi interne du tube ;
- L'écouvillon est utilisé selon des stries serrées de haut en bas sur toute la surface de la gélose. Cette opération est répétée deux fois en faisant à chaque fois pivoter la boîte de 60° ;
- L'ensemencement se réalise en frottant une dernière fois l'écouvillon sur la surface de la gélose. Le tampon est à nouveau approvisionné chaque fois qu'on inocule plusieurs plaques de Pétri avec le même organisme.
- Après avoir terminé l'ensemencement on forme des puits dans chaque boîte à l'aide d'une pipette Pasteur dans lesquels on verse 30 µl de chaque dilution des extraits aqueux. Les boîtes de Pétri sont incubées à 37 °C pendant 24 h.

Remarque : des essais préliminaires ont été préalablement effectués pour déterminer le volume adéquat pour la réalisation de notre test. En effet, 4 volumes ont été testés : 10, 20, 30 et 50 µl ; le volume équivalent à 30 µl a donné le meilleur résultat.

c) Lecture

- La mesure des zones d'inhibition s'effectue en mesurant soigneusement les largeurs des zones d'inhibition avec un pied à coulisse en métal, à l'extérieur de la boîte scellée.
- Mettre en parallèle ces résultats avec les valeurs critiques présentes dans les tables de lecture.
- Attribuer la bactérie à l'une des trois catégories: sensible, intermédiaire ou résistante.

2.3.4. Détermination de la CMI et de la CMB

a) Principe

La Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) est la plus faible concentration d'antimicrobien capable d'inhiber toute croissance visible après un temps d'incubation de 18 à 24 heures. Ainsi l'activité antibactérienne d'un composé sera d'autant plus forte que la valeur de sa CMI sera plus faible.

b) Protocole

Les valeurs de CMI des extraits de plantes sont déterminées à l'aide du test de microdilution, dans une plaque à 96 puits stérile ;

- Deux puits vont servir, respectivement, de contrôle, contenant uniquement la suspension bactérienne et l'extrait aqueux ;
- 95 µl de bouillon Mueller Hinton sont déposés dans tous les autres puits, ajoutés à 5 µl d'inoculum bactérien et 100 µl de chaque dilution de l'extrait aqueux ;

- La plaque est incubée à 37 °C pendant 24 heures.

c) Lecture

La lecture est effectuée à l'œil nu en se référant aux contrôles. L'interprétation se fait en comparant avec le micro-tube témoin ; la dilution qui produit le premier microtube exempt de bactéries, c'est-à-dire sans expansion bactérienne, définit la CMI.

Pour la détermination des concentrations minimale bactéricide (CMB), nous avons sélectionné les puits sans croissance visible que nous avons ensemencé sur un milieu d'agar MH puis incubé à 37 °C pendant 18 à 24 heures ; la CMB de chacun était estimée à partir du milieu de culture dans lequel aucune croissance microbienne visible n'a été enregistrée lors de l'examen.

2.3.5. Activité anti-Biofilm

a) Principe

La technique repose sur la formation du biofilm dans les 96 puits de la plaque de microtitrage.

Après un temps d'incubation nécessaire dans un milieu de culture adéquat, la microplaque est rincée à l'aide d'une pipette ou par immersion, afin d'éliminer les bactéries planctoniques.

Cette technique a été appliquée vis-à-vis de *P. aeruginosa* et *S. aureus* aux concentrations de 25, 50, 75 et 100 µg/ml des extraits de plantes.

b) Protocole

➤ **Préparation de la plaque de microtitrage :**

- A partir d'une culture pure et jeune de 18 à 24 heures, racler 4 à 5 colonies viables bien isolées, à l'aide d'une pipette Pasteur ;
- Décharger la pipette dans 4 ml de bouillon Muller Hinton ;
- 100µl de la suspension ajustée à 0,2 de DO à une longueur d'onde de 625 nm ont été transféré sur une plaque de microtitrage à 96 puits additionnés de 100 µl de la concentration de l'extrait aqueux correspondante ;
- Incuber la plaque à 37 °C pendant 24 heures.

➤ **Lecture du Biofilm :**

- Après incubation, retirer délicatement le contenu des plaques ;
- Rincer la plaque abondamment trois fois avec de l'eau distillée stérile afin d'éliminer les cellules non adhérentes et la sécher à l'étuve ;

- La surface attachant les cellules a été colorée avec 200 µl de cristal violet à 0.1% pendant 30 min. Par la suite, le cristal violet a été retiré et la plaque lavée à l'eau bidistillée trois fois, puis séchée à l'étuve ;
- Ajouter 200 µl d'une solution éthanol/acétone (75% / 25%) dans les puits, recouvrir les plaques et laisser agir 30 min ;
- Réaliser la lecture à une longueur d'onde de 595 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques ELISA ;
- Le taux d'inhibition (TI) a été calculé selon l'équation :

$$TI = \frac{DO \text{ Témoin Positif} - DO \text{ Test Concentration}}{DO \text{ Témoin Positif}} \times 100$$

2.4. Activité antioxydante

2.4.1. Le test 2,2-DiPhenyl-1-PicrylHydrazyl (DPPH)

a) Principe

Le test DPPH est une méthode spectrophotométrique décrite par Brand-williams, largement utilisée pour évaluer la capacité antioxydante d'un composé ou d'un extrait végétal, basée sur le pouvoir de réduction des radicaux libres (**Brand-Williams et al. 1995**).

Le radical DPPH est un radical libre stable, de couleur violette en solution (généralement en éthanol ou méthanol). Lorsqu'un antioxydant (noté AH) est ajouté, il transfère un atome d'hydrogène au radical DPPH- le réduisant en DPPH-H, une forme non radicalaire de couleur jaune pâle. Ce changement de couleur violet → jaune est proportionnel à la capacité antioxydante de l'échantillon testé.

La réaction peut être schématisée ainsi :



La diminution de l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde spécifique, généralement autour de 515-517 nm, correspondant au maximum d'absorption du DPPH-.

b) Protocole

Le piégeage des radicaux libres DPPH a été testé selon **Mariga et al, (2012)**. Dans un premier temps, des dilutions en série des deux extraits aqueux ainsi que de l'acide ascorbique (standard) ont été préparées. Un volume de 1 ml des différentes dilutions a été ajouté à 100 µl de réactif DPPH préalablement préparé dans du méthanol à 6.10⁻⁴M. Les tubes ont ensuite été incubés dans l'obscurité à 25 °C pendant 30 min. L'absorbance est mesurée à 517 nm directement après l'incubation.

Les résultats sont présentés sous forme de valeurs IC₅₀ (concentration d'inhibition des radicaux libres à 50%). La détermination de ces valeurs est obtenue à partir de la courbe PI f(C) :

Le PI (%) a été calculé comme suit :

- $PI (\%) = \frac{Ac - Ae}{Ac} \times 100$ où

- Ac et Ae sont l'absorbance du standard et des échantillons respectivement.

2.4.2. Pouvoir réducteur ferrique (FRAP)

a) Principe

C'est une méthode utilisée pour évaluer la capacité antioxydante d'un échantillon en mesurant son pouvoir réducteur vis-à-vis d'un complexe ferreux. Cette technique repose sur la réduction du complexe ferrique (Fe³⁺) en ferreux (Fe²⁺) par les antioxydants présents dans l'échantillon. Le complexe Fe²⁺ formé se lie au tripyridyltriazine (TPTZ), formant un complexe bleu intense dont l'absorbance est mesurée spectrophotométriquement à 593 nm.

L'augmentation de l'absorbance est proportionnelle à la capacité antioxydante réductrice de l'échantillon. Ainsi, le test FRAP quantifie la capacité d'un échantillon à réduire Fe³⁺ en Fe²⁺, reflétant ainsi son potentiel antioxydant total (**Benzie et Strain, 1996**).

b) Protocole

Une quantité de 1 ml des différentes dilutions réalisées a été ajoutée à 2,5 ml du tampon phosphate et 2,5 ml de ferricyanure de potassium. Le mélange est incubé dans le noir à une température de 50 °C, pendant 20 min. A la fin de l'incubation 2,5 ml de solution d'acide chloroacétique (10%) sont rajoutés. Le mélange obtenu est centrifugé à 3000 rpm pendant 10 min ; 2,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml de solution aqueuse de chlorure ferrique sont ajoutés à une aliquote de 2,5 ml du surnageant. L'absorbance est mesurée à 700 nm.

2.5. Activité anti-hémolytique

a) Principe

Le principe de l'activité anti-hémolytique repose sur la capacité d'un extrait ou d'un composé à protéger les globules rouges (érythrocytes) contre leur destruction (hémolyse) provoquée par des agents physiques (chaleur), chimiques (hypotonie) ou oxydatifs.

L'hémolyse correspond à la rupture de la membrane des globules rouges, entraînant la libération d'hémoglobine dans le milieu environnant. Dans le test d'activité anti-hémolytique, on soumet les globules rouges à un stress (ex. solution hypotonique, chaleur) qui provoque une hémolyse partielle ou totale. La présence d'un extrait végétal ou d'un composé antioxydant est testée pour sa capacité à stabiliser la membrane des globules rouges et ainsi réduire ou inhiber la libération d'hémoglobine.

La quantité d'hémoglobine libérée est mesurée par spectrophotométrie (absorbance à une longueur d'onde spécifique, souvent autour de 540-450 nm). La réduction de l'absorbance par rapport au contrôle (sans extrait) traduit l'activité anti-hémolytique, c'est-à-dire la capacité protectrice de l'échantillon (**Sadique et al., 1989**).

b) Protocole

L'analyse d'hémolyse a été réalisée *in vitro* pour les extraits de plantes, selon Tripathi, avec de légères modifications à trois concentrations (12,5, 25 et 50 mg/ml) dans une suspension d'érythrocytes humains dans une solution saline tamponnée au phosphate (PBS) à pH = 7,4 ± 0,2.

- ✓ Les concentrations des extraits utilisées sont : 50, 25, 12.5 mg/ml.
- ✓ Le PBS est préparé à pH=7.4, comme solution tampon contenant le chlorure de sodium (137 mM), chlorure de potassium (2.7 mM), hydrogénophosphate de sodium (8 mM), dihydrogénophosphate de potassium (2 mM).

La solution érythrocytaire est préparée à partir d'un sang humain sain mit dans des tubes hépariné comme suit :

- centrifuger le sang à 2500 tours/min pendant 10 min ;
- éliminer le plasma puis laver le culot deux fois avec le PBS ;
- suspendre la solution à nouveau avec du PBS dans le même volume que le plasma éliminé ;

Dans les tubes à hémolyse :

- ✓ Un volume de 20 µl de chaque extrait à différentes concentrations est ajouté à 1980 µl de la solution érythrocytaire préparée ;

- ✓ Incuber à 37 °C pendant une heure ;
 - ✓ Après incubation on prélève de chaque tube 250 µl et que l'on rajoute à 750 µl de PBS ;
 - ✓ Mélanger délicatement les tubes dans un bain glaçon ;
 - ✓ Centrifuger à 2500 tours pendant 10 min ;
 - ✓ Faire la lecture de l'absorbance à une longueur d'onde de 548 nm ;
- Le tube standard utilisé comme test blanc contient du PBS ;
 - Le témoin positif doit contenir 100 µl de suspension érythrocytaire et 1900 µl d'eau distillée
 - Le témoin négatif est composé de 250 µl de suspension érythrocytaire plus 750 µl de PBS ;

Ces trois derniers doivent être mit dans les mêmes conditions et démarches expérimentales de ce test.

Le taux d'hémolyse :

Pourcentage par rapport à l'hémolyse totale après une incubation de 60 min.

$$\text{Taux d'hémolyse (\%)} = \frac{\text{DO}_{\text{Extrait}} - \text{DO}_{\text{Témoin négatif}}}{\text{DO}_{\text{Témoin positif}}} \times 100$$

2.7. Analyse statistique

Dans cette étude, tous les tests expérimentaux sont réalisés en trois exemplaires. Les calculs statistiques sont effectués à l'aide du logiciel statistique Prism8 ; les résultats sont exprimés sous forme de moyenne ± écart-type (ET). L'analyse de variance à sens unique (ANOVA) a été utilisée pour comparer les variables paramétriques. Le coefficient de corrélation de Pearson a été calculé pour mesurer l'association linéaire entre les variables continues.

Résultats et Discussion

1. Rendement de l'extrait aqueux des plantes

Dans cette étude, *A. halimus* et *H. scoparium* ont montré des valeurs de rendement de 21,75% et 12 %, respectivement.

Les résultats obtenus pour *A. halimus* sont importants contrairement à ceux obtenus par CHAREF et REZGUI (2020) qui a montré un rendement de 4.76 %.

Le rendement de l'extrait aqueux d'*H. scoparium* que nous avons obtenu est comparable à celui de Lachkar et al. (2021), dont le rendement de de 12 %.

L'extrait d'*A. halimus* présente une texture en poudre de couleur claire alors que celui d'*H. scoparium* a une texture en lamelle collante de couleur foncée.

Le **Tab. 3** présente les différents rendements décrits dans la bibliographie, obtenus à partir des extraits aqueux et des huiles essentielles des deux plantes étudiées.

Tableau 3. Comparaison des rendements de l'huile essentielle et des extraits aqueux d'*A. halimus* et *H. scoparium* selon plusieurs études.

	Extrait aqueux	Huile essentielle	Extrait méthanolique	Extrait butanolique
<i>Atriplex halimus</i>	4.76% (Nada et Rezgui, 2020)	0.022 % (Ounaissia et al. 2020)	6.04 % (Chaouche et al. 2021) 1.41 % (Benhamou et al. 2009)	5.96 % (Belhadj Tahar et al. 2015)
<i>Haloxylyon scoparium</i>	16 % (Lachkar et al. 2021)	0.018% (Otmani, 2015)	/	6.20 % (Belhadj Tahar et al. 2015)

D'après ces différentes études, il est à remarquer une disparité quant aux rendements des différents extraits. Il est à noter que pour *A. halimus*, le rendement de l'extrait méthanolique est plus élevé que les autres extraits, alors que pour *H. scoparium*, le rendement de l'extrait aqueux est nettement supérieur aux autres.

2. Etude phytochimique

2.1. Etude de la composition en minéraux

Le **Tab. 4** résume les résultats de la composition des éléments minéraux. Les résultats montrent que le chlorure (Cl) est le minéral le plus prépondérant dans les deux extraits avec les valeurs suivantes : (745500 ± 20081.8 mg/kg) pour *A. halimus* et (8500 ± 141,42 mg/kg) pour

H. scoparium.

Tableau 4. Composition en minéraux (mg/kg) de l'extrait aqueux d'*A.halimus* et *H.scoparium*.

Plantes	Sulphate (SO ⁴⁻)	Azote total (TN)	Phosphore total (TP)	Chloride (Cl)	Sodium (Na)	Potassium (K)	Calcium (Ca ²⁺)	Magnesium (Mg ²⁺)
<i>A. halimus</i>	1380 ± 42.42	263.75 ± 1.76	166.85 ± 15.06	7455 ± 200.81	3555 ± 49.49	240.5 ± 2.12	1018.4 ± 75.80	370.65 ± 27.50
<i>H. scoparium</i>	1355 ± 35.35	316.8 ± 18.66	161.25 ± 21.14	8500 ± 141.42	3645 ± 49.49	346.5 ± 2.12	681.1 ± 47.51	249.7 ± 14.56

A. halimus contient une concentration importante de sodium (3555±49.49 mg/kg), sulfate (1380±42,42mg/kg), calcium (1018,65±27,50 mg/kg), potassium (240±2,12 mg/kg), magnésium (370,65±27,50mg/kg), phosphore total (166,85±15,06 mg/kg) et azote total (263,75±1,76 mg/kg). Cependant *H. scoparium* a un taux important de calcium (681,1±47,51 mg/kg), de sodium (3645 ± 49,49 mg/kg), magnésium (249,7 ± 14,56 mg/kg), sulfate (1355 ±35,35 mg/kg), potassium (346,5 ± 2,12 mg/kg), azote total (3,16 ± 18,66 mg/kg) et phosphore total (161,25 ± 21,14 mg /kg).

2.2. Composition phytochimique

Les résultats de la présente étude ont montré que *A. halimus* et *H. scoparium* contiennent des quantités significatives de composés actifs biologiques (métabolites secondaires) et de minéraux. La **Fig. 11** présente les concentrations moyennes (± écart-type) de différents composés bioactifs (alcaloïdes, saponines, tanins, polyphénols et flavonoïdes) dans les extraits aqueux de deux plantes :

- **Alcaloïdes** : les deux extraits contiennent de faibles quantités d'alcaloïdes, avec une légère supériorité pour *A. halimus* (4,64 ± 0,9 mg/g).
- **Saponines** : les concentrations sont similaires pour les deux espèces, sans différence marquée (15,1 ± 1,2 mg/g).
- **Tanins** : *A. halimus* présente une teneur légèrement supérieure en tanins (21,2 ± 0,7 mg/g) par rapport à *H. scoparium*.
- **Polyphénols** : *H. scoparium* affiche une concentration en polyphénols nettement plus élevée (72.8 ± 0.5 mg/g) que celle de *A. halimus* (environ 35,01 mg/g).
- **Flavonoïdes** : de même, *H. scoparium* possède une teneur en flavonoïdes bien supérieure (43.6 ± 2.1 mg/g) à celle de *A. halimus*.

En résumé, *H. scoparium* se distingue par des concentrations beaucoup plus élevées en polyphénols et flavonoïdes, alors que *A. halimus* présente des teneurs comparables ou

légèrement supérieures en tanins et saponines. Ces différences suggèrent que *H. scoparium* pourrait avoir un potentiel antioxydant plus important, en raison de sa richesse en polyphénols, flavonoïdes, saponines et tanins comparativement à l'extrait de *A. halimus*.

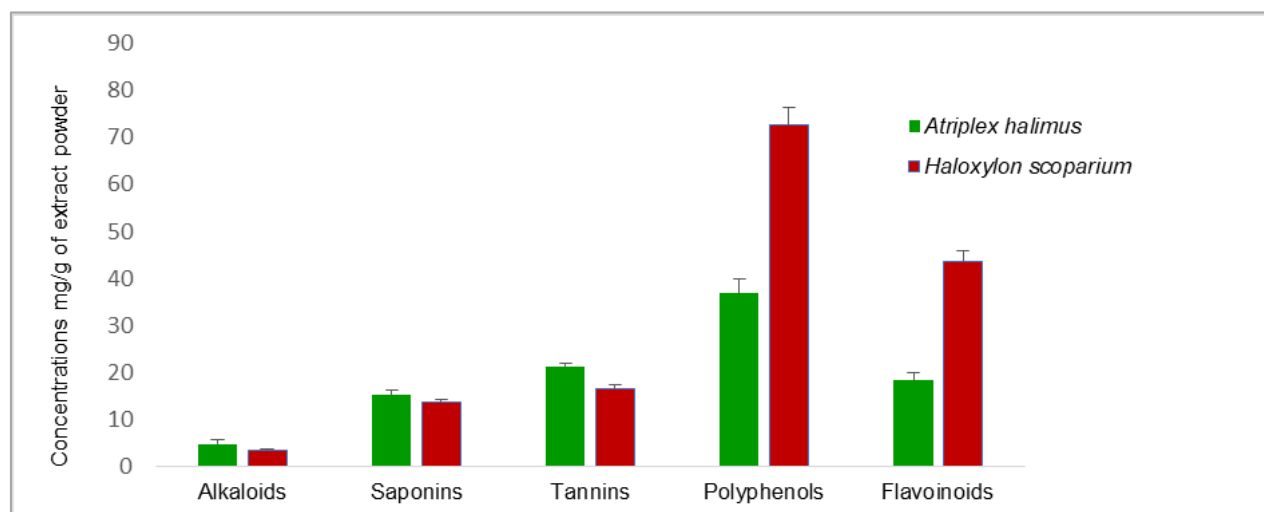


Figure 11. Teneurs totales en polyphénols, flavonoïdes, alcaloïdes, saponines et tanins dans les extraits aqueux des plantes *A. halimus* et *H. scoparium*.

Les résultats sont exprimés en moyenne \pm écart-type (SD), basés sur trois répétitions expérimentales.

Les résultats obtenus s'accordent partiellement avec ceux rapportés par **Yepesa et al. (2018)** ainsi que **Guettouche et al. (2020)**, tout en présentant des différences significatives par rapport aux travaux antérieurs de **Belhadj et al. (2015)** et **Ounaissia et al. (2020)**, portant sur la composition chimique des extraits phénoliques de *A. halimus* et *H. scoparium*, ainsi que sur l'extrait méthanolique de *A. halimus*. Ces divergences observées dans la composition chimique des espèces végétales étudiées peuvent s'expliquer par une multitude de facteurs. En effet, la nature physico-chimique du sol, le cycle végétatif, les paramètres édaphiques, le type bioclimatique, les méthodes d'extraction employées ainsi que les caractéristiques génétiques des plantes exercent une influence déterminante sur la teneur en métabolites secondaires (**Belkheiria et Mulas, 2013 ; Boudjabi et Chenchouni, 2022**).

Selon les travaux de **Louerrad et al. (2016)** et **Bouaziz et al. (2021)** les métabolites secondaires tels que les alcaloïdes, les saponines, les tanins et les polyphénols totaux présentent une large palette d'effets biologiques bénéfiques. Il a été démontré que les alcaloïdes possèdent une activité antioxydante notable (**Benhammou et al. 2009**), tandis que les saponines sont reconnues pour leurs propriétés antimicrobiennes et hypocholestérolémiantes (**Iser et al. 2020**). Par ailleurs, les tanins exercent des effets antidiarrhéiques, anti-inflammatoires,

vasoconstricteurs, antioxydants, antibactériens ainsi que des propriétés hypocholestérolémiantes. Quant aux polyphénols totaux, ils sont dotés de propriétés anti-inflammatoires, antivirales et antiallergiques, notamment lorsqu'ils sont consommés en faibles quantités dans l'alimentation. De plus, ces composés interviennent dans la modulation de l'oxydation des LDL ainsi que dans le contrôle du développement cellulaire (Iser et al. 2020).

2.3. Dosage des composés phytochimique par HPLC

L'analyse HPLC a conduit à l'identification de différents composés phénoliques dans les extraits d'*A. halimus* et de *H. scoparium*. Par rapport aux standards, 13 composés ont été trouvés. Pour *A. halimus* (Tab. 5 ; Fig. 12), les composés phénoliques les plus identifiés étaient l'acide vanillique (3,674%), la catéchine (1,673%), l'acide chlorogénique (1,586%), l'acide caféique (1,563%), la rutine (0,895 %) et la quercétine (0,363 %). Pour *H. scoparium* (Tab. 6 ; Fig. 13), les composés phénoliques identifiés étaient la catéchine (4,171%), l'acide chlorogénique (1,572%), l'acide vanillique (0,667%), l'acide caféique (0,550%), la rutine (0,463%) et la quercétine (0,164%).

Tableau 5. Analyse HPLC de l'extrait d'*Atriplex halimus* pour déterminer la teneur en composés phénoliques

Composition	Temps de rétention (min)	Area	Area (%)
Acide ascorbique	2,595	1528610	3,207
Salicine	6,856	405174	0,850
Esculine (coumarine)	7,307	11573	0,375
Acide chlorogénique	9,175	755865	1,586
Catéchine	9,635	797523	1,673
Caféine	9,754	363572	0,763
Acide Vanillique	11,356	1751265	3,674
Rutine	13,665	426467	0,895
Vanilline	14,723	688485	1,444
Acide caféique	17,749	745129	1,563
Acide salicylique	19,866	466311	0,978
Quercétine	21,510	172903	0,363
Acide Cinnamique	24,005	105550	0,221

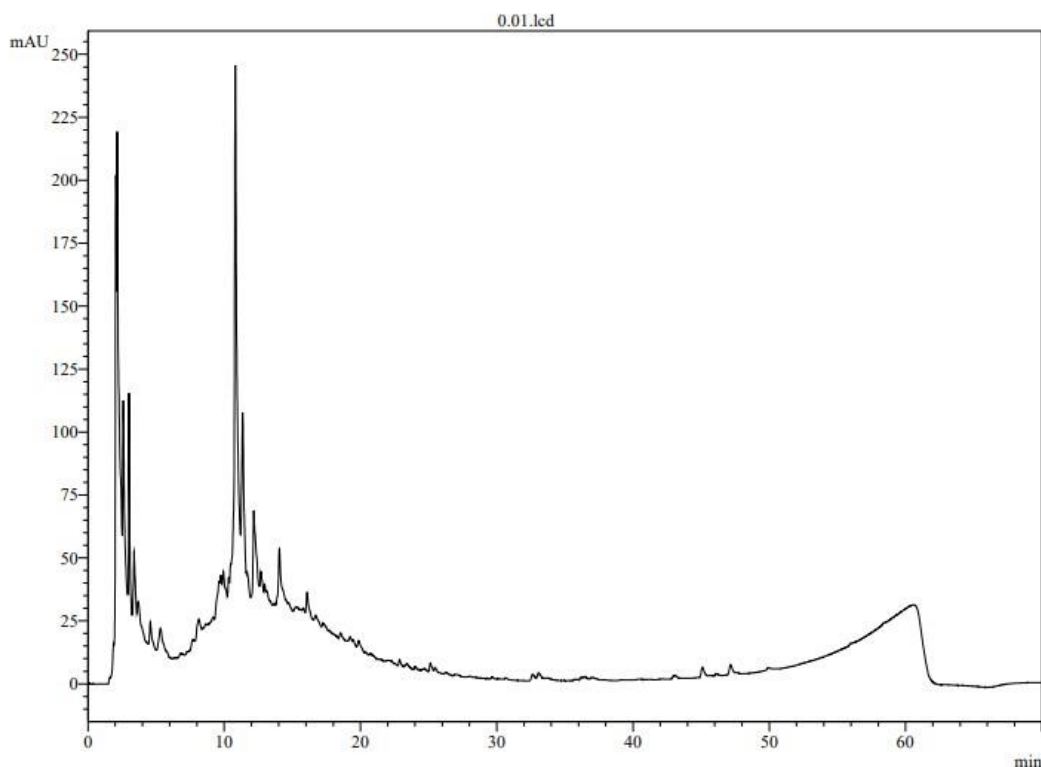


Figure 12. Chromatogramme HPLC de l'EA des feuilles de *A. halimus*.

Tableau 6. Analyse HPLC de l'extrait de *Haloxylon scoparium* pour déterminer la teneur en composés phénoliques

Composition	Temps de rétention (min)	Area	Area (%)
Acide ascorbique	2,565	4822795	11,200
Salicine	6,946	548792	1,274
Esculine (coumarine)	7,488	191643	0,445
Acide chlorogénique	8,277	676760	1,572
Catéchine	9,234	1796021	4,171
Caféine	9,754	363572	0,763
Acide vanillique	11,516	287221	0,667
Rutine	13,760	199456	0,463
Vanilline	14,917	1937459	4,499
Acide caféique	17,728	236964	0,550
Acide salicylique	19,612	43262	0,100
Quercétine	21,681	70671	0,164
Acide cinnamique	23,691	15767	0,037

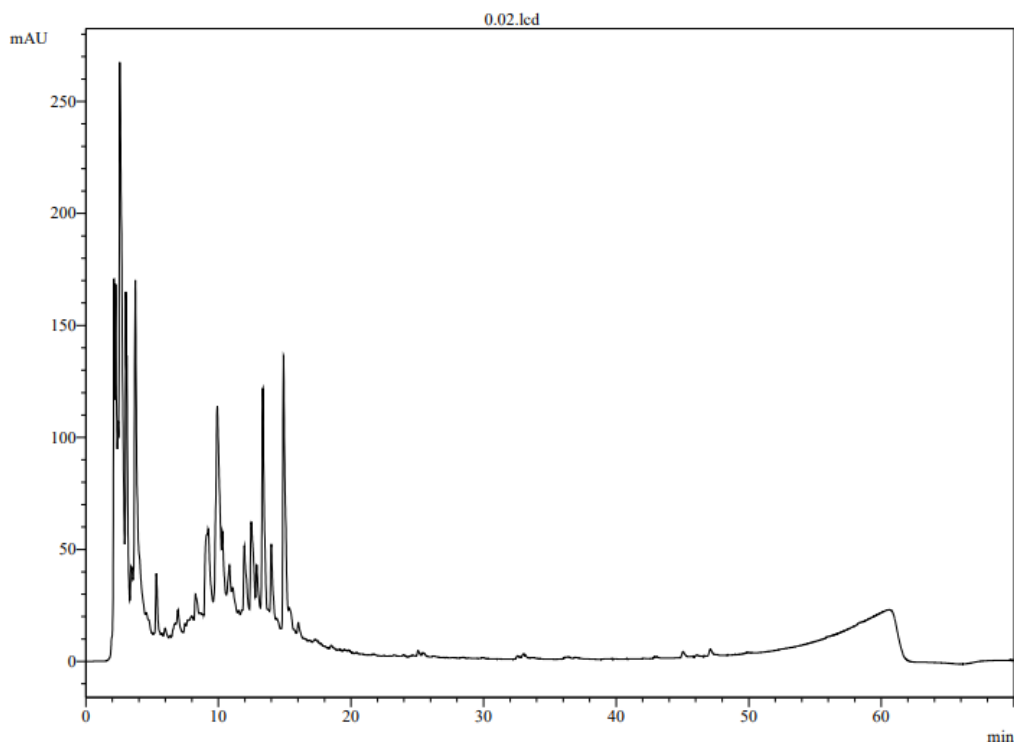


Figure 13. Chromatogramme HPLC de l'EA des feuilles de *H. scoparium*.

L'analyse HPLC, basée sur la comparaison des temps de rétention des composés avec ceux des standards purs, a permis l'identification de treize composés phénoliques distincts dans les extraits aqueux de *A. halimus* et *H. scoparium*.

Dans l'extrait de *A. halimus* (**Tab. 5 et Fig. 12**), les principaux composés phénoliques identifiés sont l'acide vanillique (3,674%), la catéchine (1,673%), l'acide chlorogénique (1,586%), l'acide caféique (1,563%), la rutine (0,895%) et la quercétine (0,363%). Quant à l'extrait de *H. scoparium* (Tab. 6 et Fig. 13), les composés majeurs détectés comprennent la catéchine (4,171%), l'acide chlorogénique (1,572%), l'acide vanillique (0,667%), l'acide caféique (0,550%), la rutine (0,463%) ainsi que la quercétine (0,164%).

Ces résultats diffèrent partiellement de ceux rapportés pour *A. halimus* par **Bouaziz et al. (2021)**, qui ont observé des pourcentages de surface chromatographique de 6,6, 1,9, 1,9 et 0,1 % respectivement pour l'acide chlorogénique, l'acide vanillique, la rutine et l'acide caféique. Cependant, des similitudes ont été relevées concernant la catéchine et la quercétine. En ce qui concerne *H. scoparium*, nos données divergent de celles de **Benkherara et al. (2021)**, qui ont rapporté des pourcentages de surface de 2,8 et 2,4 % pour l'acide vanillique et l'acide caféique, respectivement, tandis que la catéchine présente une concordance notable entre les deux études.

3. Activité antibactérienne

3.1. Profil d'antibiogramme

Les résultats des profils de résistance, aussi bien pour les souches de références que les souches cliniques, sont représentés dans les **Tab. 14 et 15, Fig. 14 et 15**.

La majorité des souches de référence étudiées ont présenté une résistance à au moins trois antibiotiques. La résistance la plus élevée chez les souches bactériennes cliniques a été observée pour l'oxacilline, l'imipénem, la pénicilline G, la vancomycine ainsi que l'érythromycine, atteignant un taux de 100%. En revanche, des niveaux de résistance nettement plus faibles ont été relevés pour la ceftazidime (0,76%), l'amikacine (4,61%) et la gentamicine (3,33%) (**Tab. 7 ; Fig. 14**). Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par **Zahir et al. (2019)**.

La souche *P. aeruginosa* ATCC 29553 est sensible aux quatre antibiotiques testés. Cela correspond au profil attendu pour une souche de référence, utilisée comme contrôle positif dans les tests de sensibilité.

Dans le cadre de notre étude, toutes les entérobactéries analysées ont manifesté une résistance à l'oxacilline, tout en conservant une sensibilité notable à la ceftazidime. Les diamètres des zones d'inhibition pour *E. coli*, *P. aeruginosa* et *C. freundii* variaient respectivement entre 25 et 27 mm, 24 et 27 mm, ainsi que 21 et 27 mm. Pour *S. marcescens* et *Y. enterocolitica*, les diamètres d'inhibition étaient compris entre 22 et 27 mm et entre 22 et 23 mm, respectivement.

Par ailleurs, *S. aureus* a présenté une résistance totale à la pénicilline G, à la vancomycine et à l'érythromycine (**Fig. 15**). Ces observations corroborent les données antérieures de **Meradji et al. (2015)**, qui ont mis en évidence un haut niveau de résistance de *P. aeruginosa* à la gentamicine (46,66%), à la ceftazidime (87%) et à la ticarcilline (100%). De même, les souches de *S. aureus* étudiées par **Rebiahi et al. (2011)** ont montré des taux de résistance élevés à l'oxacilline (75%), à la pénicilline (96,81%) et à l'érythromycine (45,45%).

La souche *A. baumannii* a montré une sensibilité modérée à l'Imipénème, tandis qu'elle présentait une résistance marquée à l'Amikacine, à la Céftazidime et à la Gentamicine, traduisant un profil de multirésistance préoccupant. En revanche, *E. coli* s'est révélée sensible à l'ensemble des antibiotiques testés à l'exception de l'Oxacilline, ce qui reste attendu étant donné l'inefficacité intrinsèque de cette molécule sur les entérobactéries.

Concernant *P. aeruginosa*, la souche a présenté une sensibilité modérée à l'Imipénème, à l'Amikacine et à la Céftazidime, avec une moindre efficacité observée pour la Gentamicine. Enfin, *S. aureus* a montré une bonne sensibilité à l'Amikacine et une sensibilité intermédiaire à

la Gentamicine, alors que la Céfotazidime s’est avérée peu efficace. L’Imipénème a induit une inhibition modérée, suggérant une activité partielle.

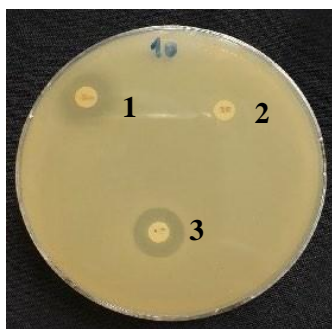
Ces résultats confirment l’existence de profils de résistance spécifiques à chaque espèce bactérienne, soulignant l’intérêt d’un diagnostic microbiologique ciblé et de l’adaptation raisonnée des traitements antibiotiques en milieu clinique.

Tableau 7. Profil des antibiotiques des souches de références.

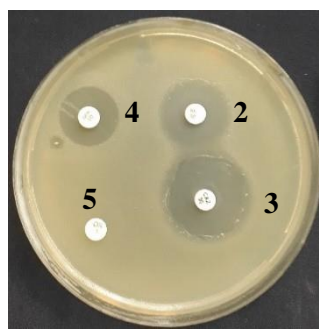
Bactéries	ATB							
	OX	CAZ	IMI	PENI G	AK	GEN	VANCO	ERYTHRO
<i>E.coli</i> ATCC25922	R	S	/	/	S	S	/	/
<i>E.coli</i> ATCC 8739	R	S	/	/	S	S	/	/
<i>P.aerugenosa</i> ATCC9027	/	S	I	/	I	S	/	/
<i>P.aerugenosa</i> ATCC 29553	/	S	S	/	S	S	/	/
<i>S.aureus</i> ATCC 25923	/	/	/	R	/	/	R	I
<i>S.aureus</i> ATCC29523	/	/	/	R	/	/	R	I
<i>Sal.spp</i> ATCC14028	R	/	I	/	/	/	/	/
<i>B.spizizini</i> ATCC6633	/	/	/	R	/	/	R	R

R: Résistante; S: Sensible, I: Intermediaire; /: Pas tester

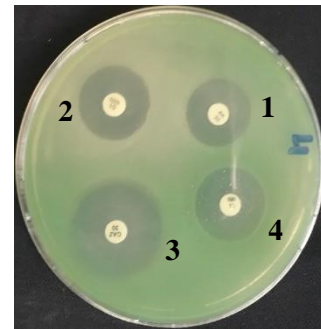
OX (Oxacilline); CAZ (Ceftazidime); IMI (Imipeneme); PENI G (Penicilline G); AK (Amikacine); GEN (Gentamicine); VANCO (Vancomycine); ERYTHRO (Erythromycine).



B.,spizizini ATCC 6633



E. coli ATCC 29522



P. aerugenosa ATCC 29553

Figure 14. Sensibilité aux antibiotiques des souches bactériennes de référence.

(1) Imipenem ; (2) Amikacin ; (3) Cefotazidime ; (4) Gentamicine ; (5) Oxacilline

Tableau 8. Profil des antibiotiques des souches cliniques

Bactéries	ATB							
	OX	CAZ	IMI	PENI G	AK	GEN	VANCO	ERYTHRO
<i>E. coli</i>	R	S	/	/	S	S	/	/
<i>E.coli</i>	R	S	/	/	R	R	/	/
<i>P.aerugenosa</i>	/	S	R	/	I	R	/	/
<i>P.aerugenosa</i>	/	S	R	/	R	S	/	/
<i>S.aureus</i>	/	/	/	R	/	/	R	R
<i>S.aureus</i>	/	/	/	R	/	/	R	R
<i>P.vulgaris</i>	R	/	/	/	/	/	/	/
<i>P.vulgaris</i>	R	/	/	/	/	/	/	/
<i>C.freundi</i>	R	S	/	/	R	S	/	/
<i>C.freundi</i>	R	S	/	/	S	S	/	/
<i>S. marcescens</i>	R	S	/	/	S	S	/	/
<i>S.odorifera</i>	R	S	/	/	R	R	/	/
<i>K.pneumoniae</i>	R	R	/	/	R	R	/	/
<i>K.pneumoniae</i>	R	I	/	/	R	I	/	/
<i>Y. enterocolitica</i>	R	S	/	/	S	I	/	/
<i>Y.enterocolitica</i>	R	S	/	/	S	S	/	/
<i>P. pneumotropica</i>	R	/	/	R	/	S	/	R
<i>P.pneumotropica</i>	R	/	/	R	/	R	/	R
<i>A. baumannii</i>	/	S	R	/	I	S	/	/

R: Résistante; S: Sensible, I: Intermédiaire; /: Pas tester

OX (Oxacilline); CAZ (Ceftazidime); IMI (Imipeneme); PENI G (Penicilline G); AK (Amikacine); GEN (Gentamycine); VANCO (Vancomycine); ERYTHRO (Erythromycine).

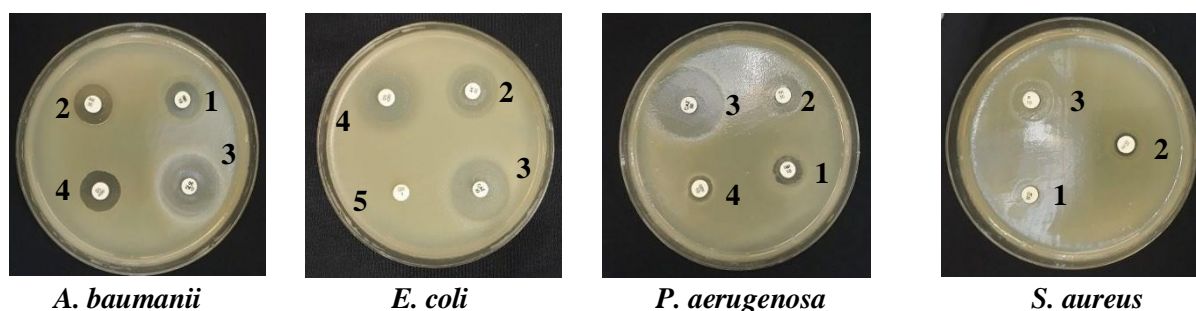


Figure 15. Sensibilité aux antibiotiques des souches bactériennes cliniques.

(1) Imipenem ; (2) Amikacin ; (3) Ceftazidime ; (4) Gentamicine ; (5) Oxacilline

En résumé, les souches de référence montrent une sensibilité attendue à la plupart des antibiotiques, validant la qualité du test (Tab. 7).

Les souches cliniques présentent des profils de résistance préoccupants, notamment pour *S. aureus* (résistance à plusieurs antibiotiques majeurs) et une résistance fréquente à l'oxacilline et à la pénicilline G chez les entérobactéries (Tab. 8).

L'efficacité des antibiotiques varie selon la souche : la ceftazidime, l'amikacine, la gentamicine et l'imipénem restent globalement efficaces, tandis que l'oxacilline, la pénicilline G, la vancomycine et l'érythromycine montrent des taux de résistance élevés.

Cette étude souligne ainsi le profil de résistance antibiotique préoccupant des souches cliniques analysées, avec des implications importantes pour la prise en charge thérapeutique.

3.2. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux des deux plantes

3.2.1. Souches de références

Nos résultats ont montré que les bactéries sont sensibles aux deux extraits aqueux à une concentration de 100 mg/ml à l'exception de *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *P. vulgaris*, *K. pneumoniae* et *A. baumannii* qui ont montré une résistance à l'extrait de *A. halimus* ; parallèlement, *P. aeruginosa* était résistant pour *H. scoparium* à la même concentration de 100 mg/ml.

Tableau 9. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux d'*A. halimus* et *H. scoparium* contre des souches de référence.

	Concentrations (mg/ml)							
	100		75		50		25	
	Plante 1	Plante 2	Plante 1	Plante 2	Plante 1	Plante 2	Plante 1	Plante 2
<i>E. coli</i> ATCC 29522	40 (++++)	28 (++++)	37 (++++)	23 (++++)	30 (++++)	21 (++++)	22 (++++)	16 (+++)
<i>E. coli</i> ATCC 8739	30 (++++)	15 (+)	22 (++++)	10 (+)	21 (++++)	7 (+)	6 (+)	10 (+)
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 9027	6 (+)	18 (+++)	8 (+)	24 (++++)	8 (+)	7 (+)	6 (+)	10 (+)
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 29553	33 (++++)	6 (+)	30 (++++)	8 (+)	25 (++++)	8 (+)	22 (++++)	8 (+)
<i>Sal. spp</i> ATCC 14028	30 (++++)	24 (++++)	25 (++++)	21 (++++)	20 (++++)	15 (++)	11 (++)	10 (+)
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	20 (++++)	28 (++++)	10 (+)	20 (++++)	6 (+)	12 (++)	7 (+)	6 (+)
<i>S. aureus</i> ATCC 29523	31 (++++)	8 (+)	26 (++++)	6 (+)	20 (++++)	6 (+)	11 (++)	10 (+)
<i>B. spizizenii</i> ATCC 66033	30 (++++)	25 (++++)	25 (++++)	20 (++++)	19 (+++)	19 (+++)	17 (+++)	10 (+)

Plante 1: *A. halimus* ; **Plante 2:** *H. scoparium*

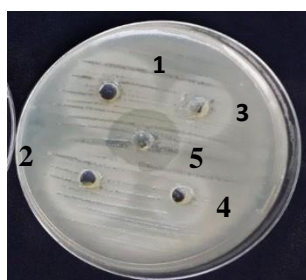
6 – 10 mm = pas très sensible (+)

10 – 15 mm = sensible (++)

15 – 20 mm = très sensible (+++)

≥ 20 mm = extrêmement sensible (++++)

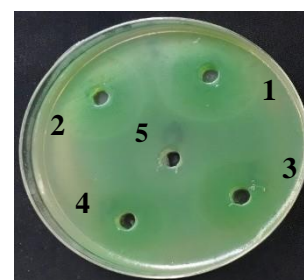
A



B. spizizinii ATCC 66033

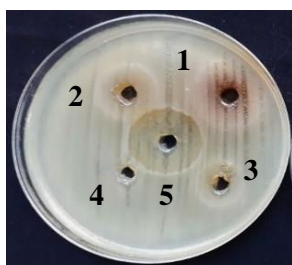


E. coli ATCC 29522

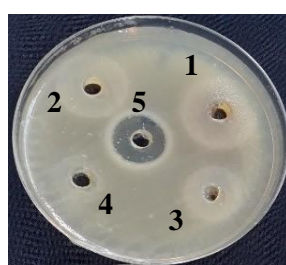


P. aeruginosa ATCC 29553

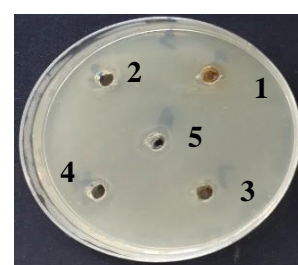
B



B. spizizinii ATCC 66033



E. coli ATCC 29522



P. aeruginosa ATCC 29553

Figure 16. Activité antibactérienne d'*A. halimus* (A) et de *H. scoparium* (B) contre des souches de référence.

1-100mg/ml, 2-75mg/ml, 3-50mg/ml, 5-Ampiciline

3.2.2. Souches cliniques

Les plantes analysées ont révélé une activité antibactérienne à large spectre, ciblant à la fois des souches bactériennes Gram-positives et Gram-négatives. L'évaluation de cette activité, basée sur la mesure des diamètres d'inhibition, a mis en évidence des valeurs comprises entre 6 - 40 mm. Pour les deux espèces végétales étudiées, les concentrations optimales se situaient entre 75 - 100 mg/mL, comme l'illustrent les **Tab. 9-10** et les **Fig. 16-17**.

A. halimus s'est distinguée comme étant la plante présentant l'activité antibactérienne la plus prononcée, affichant des diamètres d'inhibition maximaux pour la quasi-totalité des isolats testés. Toutefois, une activité moindre a été observée contre *K. pneumoniae* et *A. baumannii*, avec des diamètres d'inhibition respectifs compris entre 6 - 8 mm, et 8 - 10 mm, pour l'ensemble des concentrations évaluées. À l'inverse, une inhibition notable (≥ 30 mm à 100 mg/ml) a été enregistrée contre *E. coli*, *P. aeruginosa*, *P. vulgaris*, *C. freundii*, *S. odorifera* et *Y. enterocolitica* et *P. pneumotropica*.

Tableau 10. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux de *A. halimus* et de *H. scoparium* contre des souches cliniques.

Bactéries	Concentrations (mg/ml)							
	100		75		50		25	
	Plante 1	Plante 2	Plante 1	Plante 2	Plante 1	Plante 2	Plante 1	Plante 2
<i>E. coli</i>	30 (++++)	26 (++++)	25 (++++)	20 (++++)	20 (++++)	6 (+)	20 (++++)	7 (+)
<i>E. coli</i>	30 (++++)	25 (++++)	26 (++++)	16 (+++)	20 (++++)	6 (+)	15 (+++)	8 (+)
<i>P. aeruginosa</i>	30 (++++)	27 (++++)	25 (++++)	18 (+++)	20 (++++)	13 (++)	18 (+++)	12 (++)
<i>P. aeruginosa</i>	31 (++++)	28 (++++)	28 (++++)	23 (++++)	23 (++++)	16 (+++)	16 (+++)	14 (++)
<i>P. vulgaris</i>	31 (++++)	32 (++++)	27 (++++)	23 (++++)	22 (++++)	17 (+++)	21 (++++)	9 (+)
<i>P. vulgaris</i>	35 (++++)	25 (++++)	30 (++++)	6 (+)	20 (++++)	8 (+)	9 (+)	10 (+)
<i>C. freundii</i>	30 (++++)	29 (++++)	30 (++++)	26 (++++)	28 (++++)	21 (++++)	20 (++++)	16 (+++)
<i>C. freundii</i>	35 (++++)	27 (++++)	30 (++++)	24 (++++)	27 (++++)	21 (++++)	23 (++++)	20 (++++)
<i>S. marcescens</i>	24 (++++)	30 (++++)	20 (++++)	19 (+++)	20 (++++)	7 (+)	18 (+++)	8 (+)
<i>S. odorifera</i>	38 (++++)	30 (++++)	30 (++++)	17 (+++)	27 (++++)	15 (++)	15 (++)	10 (+)
<i>K. pneumoniae</i>	7 (+)	30 (++++)	6 (+)	25 (++++)	6 (+)	20 (++++)	8 (+)	15 (++)
<i>K. pneumoniae</i>	6 (+)	40 (++++)	10 (+)	33 (++++)	8 (+)	30 (++++)	6 (+)	22 (++++)
<i>Y. enterocolitica</i>	30 (++++)	25 (++++)	24 (++++)	16 (+++)	20 (++++)	10 (+)	17 (+++)	10 (+)
<i>Y. enterocolitica</i>	25 (++++)	21 (++++)	24 (++++)	15 (+++)	25 (++++)	8 (+)	20 (++++)	8 (+)
<i>P. pneumotropica</i>	35 (++++)	32 (++++)	30 (++++)	25 (++++)	25 (++++)	20 (++++)	20 (++++)	15 (++)
<i>P. pneumotropica</i>	35 (++++)	25 (++++)	30 (++++)	21 (++++)	25 (++++)	20 (++++)	20 (++++)	13 (++)
<i>A. baumannii</i>	8 (+)	25 (++++)	10 (+)	15 (+++)	6 (+)	9 (+)	9 (+)	8 (+)
<i>S.aureus</i>	27 (++++)	27 (++++)	26 (++++)	23 (++++)	22 (++++)	19 (+++)	20 (++++)	9 (+)
<i>S. aureus</i>	20 (+++)	30 (++++)	19 (+++)	25 (++++)	15 (++)	20 (++++)	16 (+++)	15 (+++)

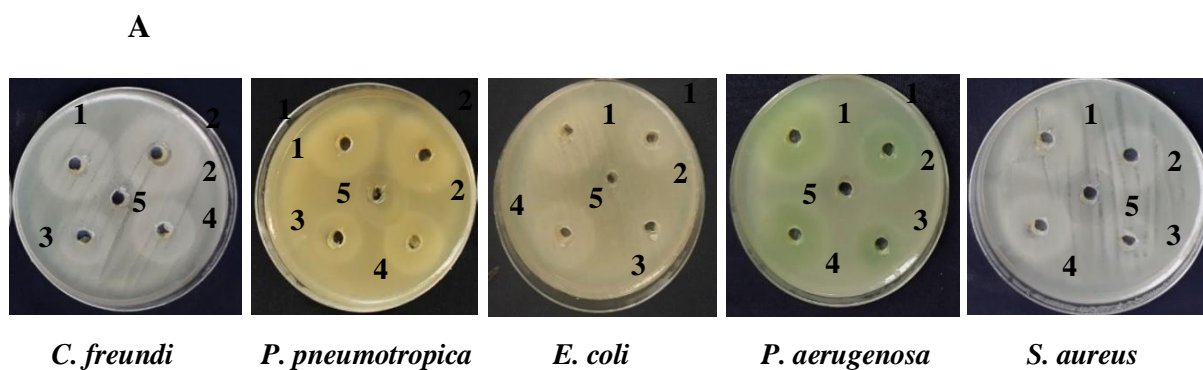
Plante 1: *A. halimus* ; Plante 2: *H. scoparium*

6 – 10 mm = pas très sensible (+)

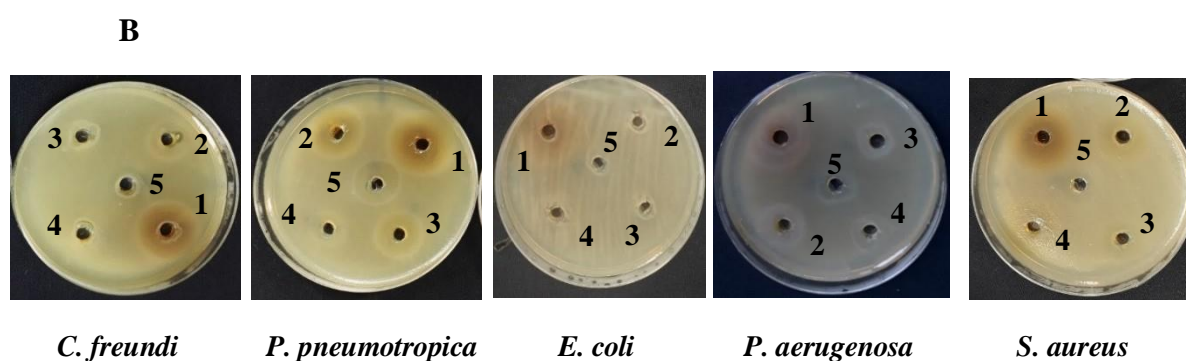
10 – 15 mm = sensible (++)

15 – 20 mm = très sensible (+++)

≥ 20 mm = extrêmement sensible (++++)



A (1) 100mg/ml; (2) 75mg/ml; (3) 50mg/ml; (4) 25mg/ml; (5) Ampiciline



B (1) 100mg/ml; (2) 75mg/ml; (3) 50mg/ml; (4) 25mg/ml; (5) Ampiciline

Figure 17. Activité antibactérienne d'*A. halimus* (A) et de *H. scoparium* (B) contre des souches cliniques.

Ces résultats témoignent d'une efficacité antibactérienne remarquable, particulièrement en comparaison avec l'ampicilline, dont les diamètres d'inhibition variaient de 0 à 16 mm.

Les plantes analysées ont révélé une activité antibactérienne à large spectre, ciblant à la fois des souches bactériennes Gram-positives et Gram-négatives. L'évaluation de cette activité, basée sur la mesure des diamètres d'inhibition, a mis en évidence des valeurs comprises entre 6 - 40 mm. Pour les deux espèces végétales étudiées ; les concentrations optimales se situaient entre 75 - 100 mg/mL, comme l'illustrent les **Tab. 9-10** et les **Fig. 16-17**.

A. halimus s'est distinguée comme la plante présentant l'activité antibactérienne la plus prononcée, affichant des diamètres d'inhibition maximaux pour la quasi-totalité des isolats testés. Toutefois, une activité moindre a été observée contre *K. pneumoniae* et *A. baumannii*, avec des diamètres d'inhibition respectifs compris entre 6 - 8 mm, et 8 - 10 mm, pour l'ensemble des concentrations évaluées. À l'inverse, une inhibition notable (≥ 30 mm à 100 mg/mL) a été

enregistrée contre *E. coli*, *P. aeruginosa*, *P. vulgaris*, *C. freundii*, *S. odorifera*, *Y. enterocolitica* et *P. pneumotropica*. Ces résultats témoignent d'une efficacité antibactérienne remarquable, particulièrement en comparaison avec l'ampicilline, dont les diamètres d'inhibition variaient de 0 à 16 mm.

En ce qui concerne l'activité antibiofilm, les EA d'*A. halimus* et *H. scoparium*, évalués par la méthode de diffusion en puits sur milieu gélosé, n'ont présenté aucune inhibition à toutes les concentrations testées.

Il convient également de souligner la résistance marquée de *P. aeruginosa* aux antibiotiques classiques tels que l'imipénem, l'amikacine et la gentamicine dans le cadre de cette étude. Malgré cette résistance, les EA des deux plantes ont démontré une activité antibactérienne significative contre cette souche, avec des diamètres d'inhibition allant de 20 à 27 mm pour *A. halimus* et de 20 à 30 mm pour *H. scoparium*.

Nos résultats ont mis en évidence un effet antibactérien remarquable de l'extrait de *H. scoparium* contre *K. pneumoniae*, avec des diamètres d'inhibition compris entre 20 et 40 mm. En revanche, l'activité d'*A. halimus* contre cette même bactérie s'est avérée limitée, avec des zones d'inhibition variant de 6 à 10 mm.

Dans l'ensemble, les bactéries multirésistantes *E. coli*, *S. aureus* et *P. pneumotropica* utilisées dans cette étude se sont révélées sensibles aux extraits d'*A. halimus* (avec des diamètres d'inhibition respectifs de 20–30 mm, 20–27 mm et 20–35 mm) ainsi qu'aux extraits de *H. scoparium* (20–26 mm, 20–30 mm et 20–32 mm respectivement). Ces diamètres d'inhibition sont supérieurs à ceux observés avec l'ampicilline.

L'expression de l'activité antibactérienne dépend de manière significative de la concentration des extraits végétaux. Par ailleurs, les caractéristiques intrinsèques propres à chaque isolat peuvent expliquer les variations de sensibilité observées entre différentes souches bactériennes exposées au même extrait, en lien avec la composition en biomolécules des extraits (**Sultana et al. 2023**).

Des études antérieures, notamment celles de **Sato et al. (2004)** et **Cushnie et Lamb (2005)**, ont démontré que certains composés, tels que les polyphénols, exercent leur action antibactérienne en perturbant l'intégrité des membranes cellulaires. La combinaison de cette perturbation membranaire avec l'effet des β -lactamines sur la transpeptidation de la paroi bactérienne pourrait expliquer l'effet antimicrobien synergique observé (**Esimone et al. 2006**).

3.3. Détermination de la CMI et de la CMB

3.3.1. Evaluation de la CMI

Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits aqueux (EA) d'*A. halimus* et de *H. scoparium* pour l'ensemble des isolats testés ont été déterminées à 6,25 mg/ml (Tab. 11- 12). À titre de comparaison, **Chaouche et al. (2021)** ont rapporté des valeurs de CMI similaires pour *A. halimus*, comprises entre 2 et 10 mg/ml. Toutefois, nos résultats ont montré que, pour les concentrations de 6,25 mg/ml et 3,12 mg/ml, les extraits des deux plantes exerçaient un effet bactériostatique sur l'ensemble des isolats bactériens étudiés.

Tableau 11. CMI (mg/ml) de l'extrait de *A. halimus*

Souches Bactériennes	CMI (mg/ml)						
	100	75	50	25	12.5	6.25	3.12
<i>E. coli</i> ATCC 29522	+	+	+	+	+	-	-
<i>E. coli</i> ATCC8739	+	+	+	+	+	-	-
<i>E. coli</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>E. coli</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P.aerugenosa</i> ATCC 29553	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. aerugenosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. aerugenosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	+	+	+	+	+	-	-
<i>S.aureus</i> ATCC 29523	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. aureus</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. aureus</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>Sal spp</i> ATCC 14028	+	+	+	+	+	-	-
<i>B. spizizinii</i> ATCC 66033	+	+	+	+	+	-	-
<i>C. freundii</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>C. freundii</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. marcescens</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. odorifera</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>K. pneumoniae</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>Y.enterocolitica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>Y.enterocolitica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. vulgaris</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. vulgaris</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. pneumotropica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. pneumotropica</i>	+	+	+	+	+	-	-

Tableau 12. CMI (mg/ml) de l'extrait d'*H. scoprium*

Bactéries	CMI (mg/ml)						
	100	75	50	25	12.5	6.25	3.12
<i>E. coli</i> ATCC29522	+	+	+	+	+	-	-
<i>E. coli</i> ATCC8739	+	+	+	+	+	-	-
<i>E. coli</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>E. coli</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. aeruginosa</i> ATCC9027	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. aureus</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. aureus</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>Sall spp</i> ATCC14028	+	+	+	+	+	-	-
<i>B. spizizinii</i> ATCC 66033	+	+	+	+	+	-	-
<i>C. freundii</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>C. freundii</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. marcescens</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>S. odorifera</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>K. pneumoniae</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>K. pneumoniae</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>Y. enterocolitica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>Y. enterocolitica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. vulgaris</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. vulgaris</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. pneumotropica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>P. pneumotropica</i>	+	+	+	+	+	-	-
<i>A. baumannii</i>	+	+	+	+	+	-	-

3.3.2. Evaluation de la CMB

Toutes les CMB réalisées pour les concentrations 6,25 mg/ml et 3,12 mg/ml ont montré un effet bactériostatique contre les deux extraits aqueux.

4. Activité Biofilm

Aucune activité anti-biofilm n'a été trouvée pour les deux extraits de plantes et pour toutes les concentrations.

5. Evaluation de l'activité antioxydante

Tableau 13. DPPH et FRAP des extraits aqueux de *A. halimus* et *H. scoparium*

Echantillons testés	IC ₅₀ (mg/g extrait)	
	DPPH test	FRAP test
<i>Atriplex Halimus</i>	1.69 ± 0.67	3.20 ± 0.04
<i>Haloxylon scoparium</i>	0.04 ± 0.02	3.05 ± 0.04
Viatmin C	0.07 ± 0.06	1.49 ± 0.45

L'activité antioxydante des extraits des deux plantes a été évaluée à l'aide des tests 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) et Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP). Les résultats ont révélé que les deux plantes possèdent de puissantes propriétés de piégeage des radicaux libres. Plus particulièrement, *H. scoparium* a présenté la capacité antioxydante la plus élevée, avec une valeur IC₅₀ de DPPH très basse (0,04 ± 0,02 mg/g d'extrait), comparativement à *A. halimus* (1,69 ± 0,67 mg/g d'extrait) et à la vitamine C (0,07 ± 0,06 mg/g d'extrait) (**Tab. 13**).

Concernant l'essai FRAP, les extraits des deux plantes ont également montré une activité antioxydante notable. L'extrait d'*A. halimus* a présenté une valeur IC₅₀ légèrement supérieure (3,20 ± 0,04 mg/g d'extrait) à celle de *H. scoparium* (3,05 ± 0,04 mg/g d'extrait), tandis que la vitamine C affichait une IC₅₀ de 1,49 ± 0,45 mg/g d'extrait.

Ces résultats soulignent la richesse des extraits en composés antioxydants, notamment en polyphénols, qui sont connus pour leur capacité à neutraliser les radicaux libres et à réduire les ions ferriques, contribuant ainsi à la protection contre le stress oxydatif.

L'analyse de corrélation entre les composés phytochimiques identifiés et les activités biologiques des extraits d'*A. halimus* et de *H. scoparium* est présentée dans le **Tab.14**. Pour les deux plantes, une corrélation significative a été observée entre l'ensemble des composés phytochimiques et les résultats des tests DPPH et FRAP, témoignant de l'implication majeure de ces biomolécules dans l'activité antioxydante.

Cependant, pour *A. halimus*, aucune corrélation significative n'a été mise en évidence entre les saponines et les tanins d'une part, et l'activité antibactérienne d'autre part, ni entre les tanins et l'activité hémolytique. De même, pour *H. scoparium*, aucune corrélation significative n'a été détectée entre les alcaloïdes et l'activité hémolytique, ainsi qu'entre les tanins et les activités

antibactérienne et hémolytique.

Tableau 14. Analyse de corrélation entre les substances phytochimiques identifiées et les activités biologiques de *A. halimus* et *H. scoparium*.

Composés Phytochimiques	<i>A. halimus</i>				<i>H. scoparium</i>			
	Activités Biologiques							
	DPPH	FRAP	Antibac térienne	Hemolytique	DPPH	FRAP	Antibac térienne	Hemolytique
Polyphenols Totaux	- 0.842**	0.894**	0.956*	0.618*	0.901**	0.856**	0.934*	0.578*
Flavonoïdes	- 0.798**	- 0.822*	0.846*	0.735*	- 0.951*	- 0.864*	0.757*	0.729*
Alcaloïdes	0.927**	0.882**	0.817*	0.804*	0.930**	0.789*	0.781*	0.627 ^{ns}
Saponines	0.802*	0.841**	0.847 ^{ns}	0.529*	0.820**	0.875*	0.652*	0.493*
Tannins	0.789*	0.705*	0.895 ^{ns}	0.489 ^{ns}	0.736*	0.694*	0.657 ^{ns}	0.693 ^{ns}

ns * and ** represent non-significant, significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

Ces résultats corroborent les travaux de **Louerrad et al. (2016)** et **Bouaziz et al. (2021)**, qui ont rapporté les puissantes propriétés de piégeage des radicaux libres des extraits aqueux d'*A. halimus* et de *H. scoparium* issus respectivement des régions de Béchar et M'sila en Algérie, par la méthode DPPH. Toutefois, certaines études ont relevé des résultats légèrement divergents concernant l'activité antioxydante par piégeage du radical DPPH, notamment pour l'extrait méthanolique d'*A. halimus* collecté à Béchar (**Belhadj-Tahar, 2015**) et l'extrait d'acétate d'éthyle de *H. scoparium* récolté à Ghardaïa (**Allaoui et al. 2016**).

Par ailleurs, nos valeurs FRAP pour *A. halimus* sont en accord avec celles obtenues par **Mkaddem Guedri et al. (2024)**, tandis que les valeurs DPPH diffèrent, notre étude révélant une activité antioxydante plus élevée. Ces disparités peuvent s'expliquer par des différences dans les méthodes d'extraction, les sous-espèces étudiées, les régions et saisons de récolte, ainsi que par les caractéristiques pédoclimatiques.

Il est bien établi que les composés phénoliques constituent parmi les antioxydants les plus puissants présents dans les plantes. Leur activité antioxydante repose principalement sur leur capacité à agir en tant qu'agents réducteurs efficaces. En fournissant des ions hydrogène, ces composés neutralisent ou éliminent les radicaux libres présents dans l'organisme (**Yadav et al. 2016**). Par ailleurs, les mécanismes d'action antioxydante incluent également la capacité à former des complexes avec l'ADN, le don d'hydrogène, le potentiel de piégeage des radicaux libres, la propriété chélatante des métaux, ainsi que la liaison directe aux protéines (**Kong et al. 2003**). L'activité antimicrobienne marquée observée dans cette étude pourrait être attribuée à

l'action de ces différents mécanismes, agissant soit de manière isolée, soit de façon synergique.

6. Evaluation de l'activité hémolytique

L'activité hémolytique, présentée dans la **Fig. 18**, s'est révélée dose dépendante, avec des pourcentages respectifs de 1,40% et 0,13% pour les extraits d'*A. halimus* et de *H. scoparium* à la concentration de 50 mg/mL. Bien que *H. scoparium* ait montré une meilleure tolérance comparativement à *A. halimus*, les deux plantes ne présentent pas de cytotoxicité significative.

Conformément aux normes ASTM, les extraits aqueux des plantes étudiées ne manifestent aucun effet hémolytique. Ces résultats corroborent ceux de **Mohammedi et Atik (2014)**, qui n'ont observé aucune toxicité sur les érythrocytes avec l'extrait méthanolique de *H. scoparium* algérien à des concentrations inférieures ou égales à 100 µg/mL.

L'activité protectrice contre l'hémolyse pourrait être attribuée à la richesse en polyphénols des extraits, ces derniers formant des liaisons hydrogène avec les composants de la membrane érythrocytaire et prévenant l'oxydation des protéines et des lipides membranaires (**De La Cruz-Jiménez et al. 2022**). Cette propriété est directement liée au potentiel antioxydant des extraits, qui contiennent notamment des composés phénoliques, des flavonoïdes et des furanocoumarines (**Terkmane et al., 2018**).

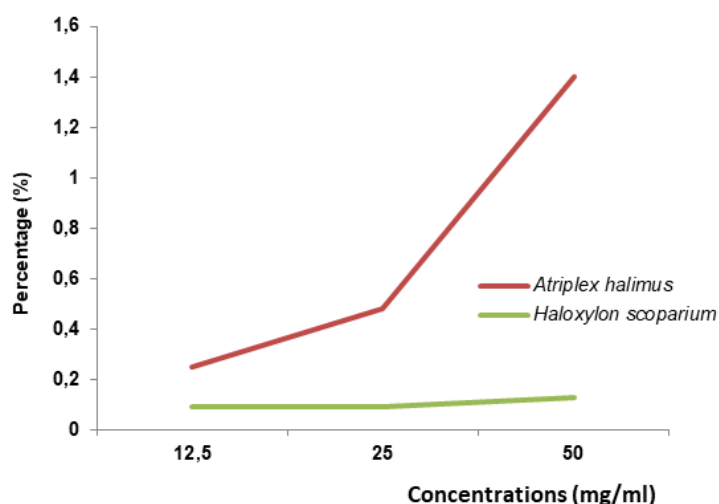


Figure 18. Activité hémolytique de l'extrait de *A. halimus*.
et *Haloxylon scoparium*

Conclusion

La présente étude a mis en évidence le potentiel remarquable des EA d'*Atriplex halimus* et de *Haloxylon scoparium* en tant qu'agents antimicrobiens et antioxydants. Ces extraits ont démontré une activité antimicrobienne à large spectre, efficace contre des bactéries à Gram négatif (*E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*) ainsi qu'à Gram positif (*S. aureus*, *Bacillus spp.*). Cette efficacité est particulièrement significative face aux souches multirésistantes, ce qui souligne l'intérêt de ces plantes dans la lutte contre la résistance croissante aux antibiotiques classiques.

Par ailleurs, l'analyse phytochimique a révélé une richesse notable en composés bioactifs, notamment en polyphénols, flavonoïdes et autres métabolites secondaires, reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Les tests DPPH et FRAP ont confirmé une forte capacité des extraits à piéger les radicaux libres et à réduire les ions ferriques, témoignant d'un potentiel antioxydant élevé, comparable voire supérieur à celui de la vitamine C dans certains cas. Cette activité antioxydante est essentielle, car elle contribue à la protection contre le stress oxydatif, facteur impliqué dans de nombreuses pathologies chroniques.

Concernant la sécurité d'emploi, les extraits aqueux n'ont pas montré d'effet hémolytique significatif, même à des concentrations élevées, ce qui suggère une bonne tolérance et un faible risque de cytotoxicité. Ce profil est cohérent avec les données de la littérature qui attribuent cette protection à la présence de polyphénols capables de stabiliser les membranes cellulaires des érythrocytes.

Les propriétés pharmacologiques observées s'inscrivent dans la continuité des usages traditionnels de ces plantes dans la médecine saharienne, où elles sont employées pour traiter diverses affections, notamment les infections, les troubles inflammatoires, le diabète et les maladies hépatiques. L'activité antibactérienne et antioxydante combinée confère à ces extraits un intérêt thérapeutique majeur, notamment dans le cadre du développement de nouvelles alternatives aux antibiotiques synthétiques, dont l'efficacité est de plus en plus compromise par la résistance bactérienne.

Toutefois, pour exploiter pleinement le potentiel de ces plantes, des études complémentaires sont indispensables. Il s'agit notamment d'identifier et de caractériser les principes actifs responsables des effets observés, d'élucider leurs mécanismes d'action moléculaires, et d'évaluer leur efficacité *in vivo* ainsi que leur pharmacocinétique et leur toxicité à long terme. Par ailleurs,

l'optimisation des méthodes d'extraction et la standardisation des extraits sont des étapes clés pour garantir la reproductibilité et la qualité des préparations destinées à un usage thérapeutique.

Enfin, l'intégration de ces extraits dans des formulations pharmaceutiques innovantes, ainsi que leur association potentielle avec des antibiotiques classiques, pourraient ouvrir de nouvelles perspectives dans la prise en charge des infections bactériennes, en particulier celles causées par des souches multirésistantes.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Abass S, Parveen R, Irfan M, Malik Z, Husain SA, Ahmad S. Mechanism of antibacterial phytoconstituents: An updated review. *Arch Microbiol.* 2024, 206:325.

<https://doi.org/10.1007/s00203-024-04035-y>

Abid H. Bouchenafa H, Abderrahmane K. (2021). Étude de l'effet des techniques culturales (semi-direct et labour) sur l'accumulation des métaux lourds dans les grains de blé dur (*Triticum durum*) dans la région d'Oued Smar (Alger). Master Université Ibn Khaldun, Tiaret (Algérie).

<http://dspace.univ-tiaret.dz:80/handle/123456789/7572>

Abouri M, MousadikEl A, Msanda F, Boubaker H. Saadi B. Cherifi K. An ethnobotanical survey of medicinal plants used in the Tata Province. *Inter J Med Plant Res.* 2012, 1(7):99–123.

Adibah KZM, Azzreena MA. Plant toxins: alkaloids and their toxicities. *GSC Biol Pharm Sci.* 2019, 6:21–29. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2019.6.2.0003>

Ahmad I, Beg AZ. Antimicrobial and phytochemical studies on 45 Indian medicinal plants against multi-drug resistant human pathogens. *J Ethnopharmacol.* 2001, 74(2):113–123.

[https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00335-4](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00335-4)

Aggarwal R, Mahajan P, Pandiya S, Bajaj A, Verma SK, Yadav P, et al. Antibiotic resistance: a global crisis, problems and solutions. *Crit Rev Microbiol.* 2024, 50:896–921.

<https://doi.org/10.1080/1040841X.2024.2313024>

Allaoui M, Cheriti A, Chebouat E, Dadamoussa B, Gherraf N. Comparative study of the antioxidant activity and phenols and flavonoids contents of the ethyl acetate extracts from two saharan chenopodacea: *Haloxylon scoparium* and *Traganum nudatum*. *Algerian j arid environ.* 2016, 6(1):71–79.

Araj GF, Uwaydah MM, Alami SY. Antimicrobial susceptibility patterns of bacterial isolates at the American University Medical Center in Lebanon. *Diagn. Microbiol. Infect Dis,* 1994, 20(3):151-158. [https://doi.org/10.1016/0732-8893\(94\)90109-0](https://doi.org/10.1016/0732-8893(94)90109-0)

Avril JL, Dabernat H, Denis F, Monteil H, (2000). Bactériologie clinique. 3e édition. Ed : ellipse (Paris). Pp : 507- 503.

Badger JL, Stins MF, Kim KS. *Citrobacter freundii* Invades and Replicates in Human Brain Microvascular Endothelial Cells. *Infect Immun.* 1999, 67(8):4208-4215.

<https://doi.org/10.1128/IAI.67.8.4208-4215.1999>

Références Bibliographiques

Bahorun T, Gressier B, Trotin F, Brunete C, Dine T, Luycky M, Vasseur J, Cazin M, Cazin JC, Pinkas M. Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittelforschung*. 1996, 46(11):1086–1089.

Barbosa TM, Levy S.B. The impact of antibiotic use on resistance development and persistence. *Drug Resist Update*, 2000, 3(5):303-311. <https://doi.org/10.1054/drup.2000.0167>

Bass L, Liebert CA, Lee MD. Incidence and characterization of integrons, genetic elements mediating multiple-drug resistance, in avian *Escherichia coli*. *Antimicrob Ag Chemoth.*, 1999, 43(12): 2925-2929. <https://doi.org/10.1128/AAC.43.12.2925>

Beaumont C, Canonne-Hergaux F. Erythrophagocytosis and recycling of heme iron in normal and pathological conditions; regulation by hepcidin. *Transfusion Clinique et Biologique*. 2005, 12(2):123-130. <https://doi.org/10.1016/j.tracli.2005.04.017>

Becheker I, Becheker A, Melakhessou MA, Marref SE, Berredjem H. Antibacterial, antifungal, cytotoxic and genotoxic activities of different extracts of *Arabic and Myrrh Gums*. *Int J Pharm Investigation*. 2022, 12(1):20–27. <https://doi.org/10.5530/ijpi.2022.1.4>

Belhadj Tahar S, Hadj-Mahammed M, Yousfi M. Etude de l'activité antioxydante des extraits phénoliques de l'*Atriplex halimus L* et de l'*Haloxylon scoparium pomel* du Sahara septentrional. *Ann. Scien.Technol*. 2015, 7(1):258–264.
<https://revues.univouargla.dz/images/banners/ASTimages/ASTDOC/ASTV7N1/A070105.pdf>

Belkheiria O, Mulas M. The effects of salt stress on growth, water relations and ion accumulation in two halophyte *Atriplex* species. *Environ Exper Botany*. 2013, 86:17– 28.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.07.001>

Belkhiri F, Baghiani A, Zerroug MM, Arrar L. Investigation of antihemolytic, xanthine oxidase inhibition, antioxidant and antimicrobial properties of *salvia verbenaca l*. aerial part extracts. *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 2017, 14(2):273-281. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i2.29>

Belkhodja M, Bidai Y. Réponse des graines d'*Atriplex halimus L*. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*. 2004, 4(15) :331-334.

Benhammou N, Atik Bekkara F, Kadifkova Panovska T. Antioxidant activity of methanolic extracts and some bioactive compounds of *Atriplex halimus*. *C.R Chimie*. 2009, 12(12):1259–1266. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2009.02.004>

Références Bibliographiques

Benkherara S, Bordjiba O, Harrat S, Boutlelis Djahra A..Antidiabetic Potential and Chemical Constituents of *Haloxylon scoparium* Aerial Part, An Endemic Plant from Southeastern Algeria. *Inter J Secon Metab.* 2021, 8(4):398–413. <https://doi.org/10.21448/ijsm.990569>

Benrebiha FZ. (1987). Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Institut National Agronomique, El-Harrach, Alger Pp: 5- 20,

Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry.* 1996, 239(1):70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

Bhan MK, Bahl R, Sazawal S. Sinha A, Kumar R, Mahalanabis D, Clemens JD. Association between *Helicobacter pylori* infection and increased risk of typhoid fever. *J Infect Dis.* 2002, 186(12):1857-1860. <https://doi.org/10.1086/345762>

Biémont C. Dossier Evolution et Créationnisme : Les éléments transposables une force évolutive majeure. *Nat Scien Soc.* 2008, 16: 41-43. <https://doi.org/10.1051/nss:2008022>

Bonnet R. Growing Group of Extended-Spectrum β -Lactamases: the CTX-M Enzymes. *Antimicrob Agents Chemother.* 2004, 48(1):1-14. <https://doi.org/10.1128/AAC.48.1.1-14.2004>

Bouasla R, Berredjem H, Berredjem M, Ibrahim-Oualid M, Allaoui A, Lecouvey M, Aouf NE. Synthesis and Biological Activity of New Chiral N-Acylsulfonamide Bis-oxazolidin-2-ones. *J Heterocy Chem.* 2013, 50:1328–1332. <https://doi.org/10.1002/jhet.1987>

Bouaziz S, Amri M, Taibi N, Zeghir-Bouteldja R, Benkhaled A, Mezioug D, Touil-Boukoffa C.. Protoscolicidal activity of *Atriplex halimus* leaves extract against *Echinococcus granulosus* protoscoleces. *Exp. Parasitol.* 2021, 229:108155. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2021.108155>

Boucherit H, Benabdeli KH, Abdelkrim Benaradj A, Mostafia Boughalem M.. Phytoécologie de *Hammada scoparia* dans la région de Naâma (Algérie occidentale). *Bot.complut.* 2018, 42: 93-99. <https://doi.org/10.5209/BOCM.61371>

Boudjabi S, Chenchouni H. Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *Catena.* 2022, 210:105910.

Boulahbal F. (2006). Microbiologie S1 Clinique. Ed. Office des Publications Universitaires. Algérie, 5ème édition. Pp: 127-303.

Références Bibliographiques

Bouzidi A, Mahdeb N, Kara N, Benouadah Z. Analyse qualitative et quantitative des alcaloïdes totaux des graines de *datura stramonium*. *Agriculture*. 2011, 2:79-88.

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 1995, 28:25-30.

Bruneton J. (2003). Pharmacognosie ,phytochimie ,plantes médicinales, 3ème Ed. Tec & doc Paris (France). Pp. 50-72.

Cardoso JC, Oliveira MEBD, Cardoso FDC. Advances and challenges on the *in vitro* production of secondary metabolites from medicinal plants. *Hortic Bras*. 2019, 37:124–32.

<https://doi.org/10.1590/S0102-053620190201>

Cardot-Martin E, Dumitrescu O, Lesprit P. 2019. La résistance aux antibiotiques. <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/microbiologie/bacteriologie/la-resistance-aux-antibiotiques>

Caroline G, Michel P. (2013). Guide de poche de phytothérapie acné, migraine, ballonnements... Soignez-vous avec les plantes. Ed. Quotidien Malin. Pp.13-21.

Cavallo JD, Hocquet D, Plesiat P, Fabre R, Roussel-Delvallez M. Susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa* to antimicrobials: a 2004 French multicentre hospital study. *J Antimicrob Chemother*. 2007, 59(5):1021-4.

<https://doi.org/10.1093/jac/dkm076>

Chang D, Sharma L, Dela Cruz CS, Zhang D. Clinical epidemiology, risk factors, and control strategies of *Klebsiella pneumoniae* infection. *Front Microbiol*. 2021, 12:750662.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.750662>

Chancey ST, Zahner D, Stephens DS. Acquired inducible antimicrobial resistance in Gram-positive bacteria. *Future Microbiol*. 2012, 7:959–978. <https://doi.org/10.2217/fmb.12.63>

Chaouche TM, Haddouchi F, Abbou F, Aissaoui M, Boudjemai O, Ghellai I, Senhadji S. Phytochemical screening and evaluation of the antioxidant and antibacterial activity of *Atriplex halimus* from two regions Algeria (ElOued and Tlemcen). *Genet Biodiv J*. 2021, 5:59–67.

Cheeke PR, Piacente S, Oleszek W. Anti-inflammatory and anti-arthritic effects of *yucca schidigera*: A review. *J Inflamm (Lond)*. 2006, 29;3:6. <https://doi.org/10.1186/1476-9255-3-6>

Chikhi I, Allali H, Dib MA, Medjdoub H, Tabti B.. Antidiabetic activity of aqueous leaf. *Asian pacific. J tropical disease*. 2014, 4(3):181-184. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60501-6](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60501-6)

Références Bibliographiques

Choukr-Allah R. (1996). The potential of halophytes in the development and rehabilitation of the aride and semi-aride zone. In Redouane, C.A., Malcolm, C.V. and Hamed, A. Halophytes and biosaline agriculture. Ed. Marcel Dekker Inc. New York. Pp. 1-10.

CLSI: Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 33th edition. CLSI Supplement M100. Wayne, PA, USA. 2023.

Cushnie TPT, Lamb AJ.. Antimicrobial activity of flavonoids. *Int J Antimicrob Agents*. 2005, 26(5):343–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002>

Dai J, Mumper RJ. Plant phenolics : Extraction , Analysis and Their Antioxydant and Properties. *Molecules*. 2010, 15(10):7313-7352; <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

Davies JE. (1997). Origins, acquisition and dissemination of antibiotic resistance determinants. In Antibiotic Resistance: Origins, Evolution, Selection and Spread. Ed: Chadwick DJ, Goode J. (Eds: John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK, Pp: 5-35.

De La Cruz-Jiménez L, Hernández-Torres MA, Monroy-García IN, Rivas-Morales C, Verde-Star MJ, Gonzalez-Villasana V, Viveros-Valdez E.. Biological Activities of Seven Medicinal Plants Used in Chiapas, Mexico. *Plants (Basel)*. 2022, 11(14):1790. <https://doi.org/10.3390/plants11141790>

Dijkshoorn L, Nemec A, Seifert H. An increasing threat in hospitals: Multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Nat. Rev. Microbiol*. 2007, 5:939–951. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1789>

Dunlap CA, Bowman MJ, Zeigler DR. Promotion of *Bacillus subtilis* subsp. inaquosorum, *Bacillus subtilis* subsp. spizizenii and *Bacillus subtilis* subsp. stercoris to species status. *Antonie van Leeuwenhoek* 2020, 113:1–12. <https://doi.org/10.1007/s10482-019-01354-9>

Eddouks M, Maghrani M, Lemhadri A, Ouahidi M, Jouad H. Ethnopharmacological survey of medicinal plants used for the treatment of diabetes mellitus ,hypertension and cardiac diseases in the south-east region of Morocco (Tafilalet). *J Ethnopharmacol*. 2002, 82(2-3):97–103. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(02\)00164-2](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(02)00164-2)

Elazhari M, Saile R, Dersi N, Timinouni M, Elmalki A, Bouhali Zriouil S, Hassar M, Zerouali K. Activité de 16 antibiotiques vis-à-vis des *Staphylococcus aureus* communautaires à Casablanca (Maroc) et Prévalence des Souches Résistantes à la Méricilline. *Europ J Sci Res*. 2009, 30: 128-137.

Références Bibliographiques

Elbouzidi A, Ouassou H, Aherkou M, Kharchoufa L, Meskali N, Baraich A, Mechchate H, Bouhrim M, Idir A, Hano C, Zrouri H, Addi M.. LC–MS/MS Phytochemical Profiling, Antioxidant Activity, and Cytotoxicity of the Ethanolic Extract of *Atriplex halimus* L. against Breast Cancer Cell Lines: Computational Studies and Experimental Validation. *Pharmaceuticals*. 2022, 15(9):1156. <https://doi.org/10.3390/ph15091156>

El-Saadony MT, Saad AM, Mohammed DM, Korma SA, Alshahrani MY, Ahmed AE, Ibrahim EH, Salem HM, Alkafaas SS, Saif AM, Elkafas SS, Fahmy MA, Abd El-Mageed TA, Abady MM, Assal HY, El-Tarabily MK, Mathew BT, AbuQamar SF, El-Tarabily KA, Ibrahim SA. Medicinal plants: bioactive compounds, biological activities, combating multidrug-resistant microorganisms, and human health benefits - a comprehensive review. *Front. Immunol.* 2025, 16:1491777. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1491777>

El-Shazly A, Wink M. Tetrahydroisoquinoline and b-Carboline Alkaloids from *Haloxylon articulatum* (Cav.) Bunge (Chenopodiaceae). *Z. Fur Naturforschung C*. 2003, 58(7-8):477-480. <https://doi.org/10.1515/znc-2003-7-805>

Emam SS.. Bioactive constituents of *Atriplex halimus* plant. *J Nat Prod*. 2011, 4:25-41.

Esimone CO, Iroha IR, Ibezim EC, Okeh CO, Okpana EM.. *In vitro* evaluation of the interaction between tea extracts and penicillin G against staphylococcus aureus. *Afr. J Biotech*. 2006, 5(11):1082–1086.

Everest P, Wain J, Roberts M, Rook G, Dougan G. The molecular mechanisms of severe typhoid fever. *Trends Microbiol*. 2001, 9(7):316- 320. [https://doi.org/10.1016/s0966-842x\(01\)02067-4](https://doi.org/10.1016/s0966-842x(01)02067-4)

Fakchich J, Elachouri M. Ethnobotanical survey of medicinal plants used by people in Oriental Morocco to manage various ailments. *J Ethnopharmacol*, 2014, 154(1):76–87. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.03.016>

Fauchère JL, Avril JL. (2002). Bactériologie générale et médicale. Ed Ellipses. Paris. 368P.

Finlay BB, Falkow S. Common themes in microbial pathogenicity revisited. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 1997, 61(2):136–169. <https://doi.org/10.1128/membr.61.2.136-169.1997>

Francllet A, Le Houerou HN. (1971) *Les Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord. Rome: Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture: 249- 271.

Frankel EN, Waterhouse AL, Kinsella JE. Inhibition of human LDL oxidation by resveratrol. *Lancet*. 1993, 341(8852):1103-1104. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(93\)92472-6](https://doi.org/10.1016/0140-6736(93)92472-6)

Références Bibliographiques

- Freney J. Entérobactéries. *EMC: Biol clin*, 2006, 9(5):135.
- Frenod E. Existence result for a model of *Proteus mirabilis* swarm. *Differ Interg Equat*, 2006, 19(16):697-720.
- Froment D. Etablissement des cultures fourragères d'*Atriplex* en Tunisie central. *Bull recherche Agro.C.E.M.L.* 1972, Vol extra:590-600.
- Gajdác M. The continuing threat of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Antibiotics*. 2019, 8:52. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8020052>
- Galgano M, Pellegrini F, Catalano E, Capozzi L, Del Sambro L, Sposato A, Lucente MS, Vasinioti VI, Catella C, Odigie A.E, et al. Acquired Bacterial Resistance to Antibiotics and Resistance Genes: From Past to Future. *Antibiotics*. 2025, 14:222. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030222>
- Garrigues P, Celerier J, Reiss B, Crochu G, Cohen F, Jeannel J, Focé G, De Raigniac R, Jockey C, Giely D. Profil des anémies hémolytiques rencontrées dans un service de médecine interne de 2005 et 2021. *Rev Méd Int*. 2021, 42(2) :A369. <https://doi.org/10.1016/j.revmed.2021.10.051>
- Gattouche S, Zenkhri L, Belfar ML, Tabchouche A. Phytochemical Screening, Anti-Bacterial and Anti-oxidant Activities of some Aerial parts extracts in *Atriplex halimus* L., from Ouargla (Algeria). *Asian J Res Chem*. 2020, 13(5):365–372. <https://doi.org/10.5958/0974-4150.2020.00069.3>
- Gautam AK, Singh PK, Aravind M. Defensive role of plant phenolics against pathogenic microbes for sustainable agriculture. In: Lone R, Shuab R, Kamili AN, editors. *Plant phenolics in sustainable agriculture*, Springer, Singapore (2020). p. 579–94. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_25
- Gonelimali FD, Lin J, Miao W, Xuan J, Charles F, Chen M, et al. Antimicrobial properties and mechanism of action of some plant extracts against food pathogens and spoilage microorganisms. *Front Microbiol*. 2018, 9:1639. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01639>
- Guignard JL. (1974). *Abrégé de Biochimie Végétal*. 2^{ème} Ed. Masson (Paris). 44-5. Pp. 133-134.
- Hallet B, Sherratt D. Transposition and site-specific recombinaison: adapting DNA cut-and-paste mechanisms to a variety of genetic rearrangements. *FEME Microbiol Rev*, 1997, 21(2):157-178. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00349.x>
- Harbottle H, Thakur S, Zhao S, White DG. Genetics of antimicrobial resistance. *Anim Biotechnol*, 2006, 17(2):111-124. <https://doi.org/10.1080/10495390600957092>

Références Bibliographiques

Hardy SP. (2002). Human Microbiology. Ed: Taylor et Francis. published in the USA and Canada, Pp : 25.

Harper M, Boyce JD, Adler B. *Pasteurella multocida* pathogenesis: 125 years after Pasteur. *FEMS Microbiol Lett.* 2006, 265(1):1-10. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00442.x>

Hart T, Shears P, (1997). Atlas de poche de microbiologie. Ed : Medecine-Science, Flammarion. Pp : 71.

Hasanain A, jabbar E, Waheeb A. Study on The Bioactive Components of *Atriplex halimus L.* and Evaluation of Their Anticancer Effect on Liver Cancer Cells. *Egypt J Hosp Med.* 2023, 90:928–936. <https://doi.org/10.21608/EJHM.2023.280182>

Hayashimoto N, Takakura A, Itoh T. Genetic diversity on 16S rDNA sequence and phylogenetic tree analysis in *Pasteurella pneumotropica* strains isolated from laboratory animals. *Curr Microbiol.* 2005, 51(4):239–43. <https://doi.org/10.1007/s00284-005-4541-6>

H.C.D.S. (1996). Notice bibliographique sur quelques plantes fourragères et pastorales. Haut commissariat du développement de la steppe. Pp :15.

Hennebelle T, Sahpaz S, Bailleul F. Polyphénols végétaux, Sources, Utilisations et Potentiel dans la lutte contre le Stress Oxydatif. *Phytothérapie.* 2004, 2:3–6. <https://doi.org/10.1007/s10298-004-0003-8>

Hessainia S, Bouchareb F, Cheloufi H, Berredjem M, Berredjem H, Becheker I, Aouf N.E. Efficient Synthesis and Antibacterial Activity of Novel Cyclic Sulfamids. *Rasāyan J chem.* 2013, 6(3):175–182.

Hoste H, Jackson F, Athanasiadou S, Thamsborg SM, Hoskin SO. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *TRENDS in Parasitology,* 2006, 22(6):253-261. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.04.004>

House D, Wain J, Ho VA, Diep TS, Chinh NT, Bay PV, Vinh H, Duc M, Parry CM, Dougan G, White NJ, Hien TT, Farrar JJ. The serology of typhoid fever in an endemic area and its relevance to diagnosis. *J Clin Microbiol.,* 2001, 39(3):1002-1007. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.3.1002-1007.2001>

Hughes D, Andersson DI. (2001). Antibiotic Development and Resistance. Ed: Taylor et Francis. London and New York, Pp: 38.

Références Bibliographiques

Iser M, Valdivié M, Figueredo L, Nuñez E, Más D, Martínez Y. Secondary metabolites, quality indicators and organoleptic characteristics of stems meal from *Agave fourcroydes* (Henequen). *Cuban J Agri Sci.* 2020, 54(1):25–34.

<https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/937>

Jian Z, Zeng L, Xu T, Sun S, Yan S, Yang L, Huang Y, Jia J, Dou T. Antibiotic resistance genes in bacteria: Occurrence, spread, and control. *J. Basic Microbiol.* 2021, 61(12):1049–1070.

<https://doi.org/10.1002/jobm.202100201>

Jubair N, Rajagopal M, Chinnappan S, Abdullah NB, Fatima A. Review on the antibacterial mechanism of plant-derived compounds against multidrug-resistant bacteria (MDR). *Evid-based Complement Altern Med.* 2021, 2021:3663315. <https://doi.org/10.1155/2021/3663315>

Kapiel TYS, Hamdy RS. Loutfy Boulos: A pillar of Egyptian botany and his botanical Legacy.

Taeckholmia. 2024, 44:1-20. <https://doi.org/10.21608/taec.2024.297405.1056>

Karaman R, Jubeh B, Breijyeh Z. Resistance of Gram-Positive Bacteria to Current Antibacterial Agents and Overcoming Approaches. *Molecules* 2020, 25:2888.

<https://doi.org/10.3390/molecules25122888>

Kharchoufa L, Bouhrim M, Bencheikh N, El Assri S, Amirou A, Yamani A, Choukri M, Mekhfi H, Elachouri M..Acute and Subacute Toxicity Studies of the Aqueous Extract from *Haloxylon scoparium* Pomel (*Hammada scoparia* (Pomel)) by Oral Administration in Rodents. *Hindawi BioMed Res Interl.* 2020, 6(2020):7-11. <https://doi.org/10.1155/2020/4020647>

Killian C. La végétation autour de chott Hodna indicatrice des possibilités culturelles et son milieu édaphique. *A.n.Inst. Agro.* 1953, T. VII: 51-80.

King A , Young G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *J Am Diet Assoc.* 1999, 99(2):213-218. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(99)00051-6)

King JP, Wang A. Putative roles of terpenoids in primitive membranes. *Front Ecol Evol.* 2023, 11:1272163. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1272163>

Kong JM, Chia LS, Goh NK, Chia TF, Brouillard R. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry.* 2003, 64(5):923–933.

[http://doi.org.10.1016/s0031-9422\(03\)00438-2](http://doi.org.10.1016/s0031-9422(03)00438-2)

Références Bibliographiques

Kosalec I, Jembrek MJ, Vlainić J. The spectrum of berberine antibacterial and antifungal activities. In: Rai M, Kosalec I, editors. Promising antimicrobials from natural products. Springer, Cham, Switzerland. (2022) p. 119–32. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83504-0_7

Kosek M, Bern C, Guerrant RL. The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000 . *Bull World Health Organ*, 2003, 81:197-204.

Lachkar N, Lamchouri F, Bouabid K, Boulfia M, Senhaji S, Stitou M, Toufik H. Mineral Composition, Phenolic Content, and *In Vitro* Antidiabetic and Antioxidant Properties of Aqueous and Organic Extracts of *Haloxylon scoparium* Aerial Parts. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2021, 2021:9011168. <https://doi.org/10.1155/2021/9011168>

Lamchouri F, Benali T, Bennani B, Toufik H, Ibn Majdoub Hassania L, Bouachrine M, Lyoussi B. Preliminary phytochemical and antimicrobial investigations of extracts of *Haloxylon scoparium* . *J Mater Environ Sci*. 2012, 3(4):754- 759.

Li IP, Zaugg J, Steffen Hering S, Hamburger M. HPLC-Based Activity Profiling for GABAA Receptor Modulators: A New Dihydroisocoumarin from *Haloxylon scoparium* Yanfang, *J Nat Prod*. 2010, 73(4):768–770. <https://doi.org/10.1021/np900803w>

Lippi G, Ippolito L, Fontana R. Prevalence of hemolytic specimens referred for arterial blood gas analysis. *Clin Chem Lab Med*. 2011, 49(5):931-2. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2011.136>

Louerrad Y, Haddi R, Kaid Harche M. Etude de la peroxydation lipidique chez une plante médicinale *Haloxylon scoparium* POMEL. *Biores J Valor*. 2016, 1(1):28–33.

Lugasi A, Hovari J, Sagi KV, Biro L. The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *J Acta biologica Szegediensis*. 2003, 47(1-4):119-125. <https://abs.bibl.u-szeged.hu/index.php/abs/article/view/2358>

Mahlen SD. Serratia Infections: from Military Experiments to Current Practice. *Clin Microbiol Rev*, 2011, 24(4):755-791. <https://doi.org/10.1128/CMR.00017-11>

Mainardi JL, Shlaes DM, Goering RV, Shlaes JH, Acar JF, Goldstein FW. Decreased teicoplanin susceptibility of methicillin-resistant strains of *Staphylococcus aureus*. *J Infect Dis*, 1995, 171:1646-1650. <https://doi.org/10.1093/infdis/171.6.1646>

Malviya R, Bansal V, Pal OP, Sharma PK. High performance liquid chromatography: A Short Review. *J Global Pharma Technol*. 2010, 2(5):22-26.

Références Bibliographiques

Mandell G, Bennett J, Dolin R. (2009). Enterobacteriaceae, Principles and Practice of Infectious Diseases. 7th ed. Churchill Livingstone, An Imprint of Elsevier; Pp: 56.

Maurin M. (2018). Antibiotiques, antibiorésistance et environnement. Encyclopédie de l'Environnement. Consulté le 15/05/2025 [en ligne ISSN 2555-0950]. <https://www.encyclopedie-environnement.org/sante/antibiotique-antibioresistance-environnement/>

Mazars G. La pharmacopée marocaine traditionnelle: médecine arabe ancienne et savoirs populaires. *Revue d'Histoire de la Pharmacie*. 1998, 320:465-466.

Mbosso Teinkela JE, Noundou XS, Nguemfo EL, Meyer F, Wintjens R, Isaacs M, Mpondo AE, Hoppe HC, Maçedo Krause RW, Blaise Azebaze AG. Biological activities of plant extracts from *Ficus elastica* and *Selaginella vogelli*: An antimalarial, antitrypanosomal and cytotoxicity evaluation. *Saudi J Biol Sci*. 2018, 25:117–122. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.07.002>

McManus MC. Mechanisms of bacterial resistance to antimicrobial agents. *Am J Health-Syst PH*, 1997, 54 (12):1420-1433. <https://doi.org/10.1093/ajhp/54.12.1420>

Merghem R. (2009). Eléments de Biochimie Végétale. Ed. Bahaeddine (Alger). Pp.95-99.

Meradji S, Barguigua A, Zerouali K, Dekhil M, Chettibi H, Elmdaghri N, Timinouni M. Epidemiology of carbapenem non-susceptible *Pseudomonas aeruginosa* isolates in Eastern Algeria. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2015, 4(1):27. <https://doi.org/10.1186/s13756-015-0067-2>

Mkaddem Guedri M, Krir N, Clausell Terol C, Romdhane M, Boulila A, Guetat A.. Phytochemical Analysis, acetylcholinesterase inhibition, antidiabetic and antioxidant activity of *Atriplex halimus L. (Amaranthaceae Juss)*. *Chem. Biodiversity*. 2024:e202301941. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301941>

Mohammedi Z, Atik F. Hemolytic activity of different herbal extracts used in Algeria. *Inter J Pharma Scien Res. (IJPSR)* 2014, 5(8):495–500.

Morigane. 2007. Grimoire des plantes. Ce livre est publié sous la licence libre Creative Commons BYNCND. p 6-8.

Morris FC, Dexter C, Kostoulias X, Uddin MI, Peleg AY. The Mechanisms of Disease Caused by *Acinetobacter baumannii*. *Front. Microbiol*. 2019, 10:1601. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01601>

Références Bibliographiques

Murray CJ, Ikuta KS, Sharara F, Swetschinski L, Aguilar GR, Gray A, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: A systematic analysis. *Lancet*. 2022, 399:629–55.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)

Nauciel C, Vildé JL. (2005). Bactériologie médicale. Ed. Masson (Paris). Pp : 20-122.

Ncube B, Finnie JF, Van Staden J. Seasonal variation in antimicrobial and phytochemical properties of frequently used medicinal bulbous plants from South Africa. *South Afri J Botany*. 2011, 77:387-396. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.10.004>

Nedjimi B, Beladel B, Guit B. Biodiversity of Halophytic Vegetation in Chott Zehrez Lake of Djelfa (Algeria). *Amer J Plant Scien*. 2012, 3 :1527-1534.

<https://doi.org/10.4236/ajps.2012.311184>

Négre R. 1962. Petite Flore des régions arides du Maroc occidental. C.N.R.S, Tome I et Tome II, 979p.

Neuhäusl R, Neuhäuslová ZP. Ozenda les végétaux dans la biosphère. *Folia geobot. phytotax*. 1983, 18:362. <https://doi.org/10.1007/BF02857261>

Nordmann P, Cuzon G, Naas T. The real threat of *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase-producing bacteria. *Lancet Infect Dis*. 2009, 9(4):228-236.

[https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70054-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70054-4)

Ounaissia K, Bennadja S, Aliane L, Djahoudi A. Phytochemical screening and anti-bacterial activity of methanolic extracts of the aerial parts of *Atriplex halimus* L., from Biskra (Algeria). *Inter J Agri Nat Sci*. 2020, 13(1), 26–33. <https://www.ijans.org/index.php/ijans/article/view/464>

Parry CM. (2006). Chapter 1: Epidemiological and clinical aspects of human typhoid fever. In *Salmonella infections; Clinical, Immunological and Molecular Aspects*. Edited by Mastroeni P. and Maskell D. Ed: Cambridge University Press . United Kingdom, Pp: 1-7.

Philippon A, Arlet G. Beta-lactamases of Gram negative bacteria: never-ending clockwork. *Ann Biol Clin*, 2006, 64:37-51.

Phillips I, Casewell M, Cox T. Does the use of antibiotics in food animals pose a risk to human health? A critical review of published data. *J Antimicrob Chemoth*. 2004, 53(1):28-52.

<https://doi.org/10.1093/jac/dkg483>

Pierre M, Lis M. (2007). *Secrets des plantes*. Editions Artemis (Paris) Pp.463.

Références Bibliographiques

Pouget M. Etudes agro pédologique du bassin de Zehrez El Gharb (feuille de roche de sel) R.A.D.P. Secrétariat d'état à l'hydraulique, Alger. 1971, 12:1261-1377.

Ramesh P, Okigbo RN. Effects of Plants and Medicinal Plant Combinations as Anti-Infectives. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 2008, 2 (7):130–135.

Rebiahi SA, Abdelouahid DE, Rahmoun M, Abdelali S, Azzaoui H. Emergence de souches de *Staphylococcus aureus* résistantes à la vancomycine isolées du centrehospitalo-universitaire de Tlemcen (Algérie Nord-ouest). *Méd Maladies Infect.* 2011, 41(12):646–651.
<https://doi.org/10.1016/j.medmal.2011.09.010>

Réggami Y, Berredjem H, Cheloufi H, Berredjem M, Bouzerna N. Antihyperglycemic and antidiabetic effects of Ethyl (S)-2-(1-cyclohexylsulfamide carbamoyloxy) propanoate in streptozotocin-induced diabetic Wistar rats. *European J of Pharmacol.* 2016, 779:122-130.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2016.03.019>

Reygaert WC. An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiol.* 2018, 4(3):482–501. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.3.482>

Rice LB. Antimicrobial resistance in gram-positive bacteria. *Am. J. Infect. Control*, 2006, 34(5):S11–S19. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2006.05.220>

Russo TA, Johnson JR. Medical and economic impact of extraintestinal infections due to *Escherichia coli* : Focus on an increasingly important endemic problem. *Microbes Infect.* 2003, 5:449- 456. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(03\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(03)00049-2)

Sadique J, Al-Rqobah WA, Bughaith MF, El-Gindy AR. The bioactivity of certain medicinal plants on the stabilization of RBC membrane system. *Fitoterapia*, 1989, 60, 525-532.

Salam MA, Al-Amin MY, Salam MT, Pawar JS, Akhter N, Rabaan AA, et al. Antimicrobial resistance: A growing serious threat for global public health. *Healthcare.* 2023, 11:1946.
<https://doi.org/10.3390/healthcare11131946>

Sanchez-Moreno C. Review: Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Food and Biological Systems. *Inter J Food Sci Technol.* 2002, 3, 121-137.
<https://doi.org/10.1177/1082013202008003770>

Sandoval-Quintana E, Lauga B, Cagnon C. Environmental integrons: The dark side of the integron world. *Trends Microbiol.* 2023, 31:432–434. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2022.01.009>

Références Bibliographiques

Sarni-Manchado P, Veronique C. (2006). Les polyphénols en agroalimentaires .Collection sciences et techniques agroalimentaires. Ed. TEC et DOC, Paris (france) . Pp.398 .

Sato Y, Shibata H, Arai T, Yamamoto A, Okimura Y, Arakaki N, Higuti T. Variation in synergistic activity by flavone and its related compounds on the increased susceptibility of various strains of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* to beta-lactam antibiotics. *Int J Antimicrob Agents*. 2004, 24(3):226–233. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2004.02.028>

Shen J, Liu T, Qian Y, Yan S, Liu Z, Jia F. Therapeutic effect of probioticfermented herbal blend as antibiotic alternative on salmonellosis by multi-drug resistant *Salmonella pullorum*. *Food Biosci*. 2024, 57:103585. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103585>

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*. 1999, 299:152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

Singh D, Chaudhuri PK. A review on phytochemical and pharmacological properties of Holy basil (*Ocimum sanctum L.*). *Ind CropsProd*. 2018, 118:367–382. <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.048>

Sofowera A. (2010) Plantes médicinales et médecine traditionnelle d’Afrique. Ed. KARTHALA, Diffusion. (Paris). 384.

Soong G, Paulino F, Wachtel S, Parker D, Wickersham M, Zhang D, Brown A, Lauren C, Dowd M, West E, Horst B, Planet P, Prince A. Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Adaptation to Human Keratinocytes. *mBio*. 2015, 21;6(2):e00289-15. <https://doi.org/10.1128/mBio.00289-15>

Sreevidya N, Mehrotra S. Spectrophotometric Method for Estimation of Alkaloids Precipitable with Dragendorff's Reagent in Plant Materials. *J AOAC Inter*. 2003, 86(6):1124–1127. <https://doi.org/10.1093/jaoac/86.6.1124>

Stalikas CD. Extraction ,Separation and Delection Methods for Phenolic Acids and Flavonoids Review. *J Sep Sci*. 2007, 30(18):3268-3295. <https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>

Sultana T, Islam S, Rahman, Jahurul A. Antimicrobial and antioxidant properties of the acetone extracts of the leaves of *Lagenaria siceraria* and *Cucurbita pepo*. *Food Chem Advan*. 2023, 3:100556. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100556>

Tache AM, Dinu LD, Vamanu E. Novel Insights on Plant Extracts to Prevent and Treat Recurrent Urinary Tract Infections. *Appl. Sci*. 2022, 12(5):2635. <https://doi.org/10.3390/app12052635>

Références Bibliographiques

Tair K, Kharoubi O, Tair OA, Hellal N, Benyettou I, Aoues A. Aluminium- induced acute neurotoxicity in rats: treatment with aqueous extract of *Arthrophytum (Hammada scoparia)*. *J Acute Dis.* 2016, 5(6):470– 482. <https://doi.org/10.1016/j.joad.2016.08.028>

Talamali A, Bajji M, Le Thomas A, Kinet JM, Dutuit P. Flower architecture and sex determination: how does *Atriplex halimus* play with floral morphogenesis and sex genes? *New Phytol.* 2003, 157:105-113. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00651.x>

Tapiero H, Tew KD, Nguyen BG, Mathé G. Polyphenol do they play a role in the prevention ,of the human pathologies ? *Biomed Pharmacother.* 2002, 56(4):200-207. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(02\)00178-6](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(02)00178-6)

Tela Botanica : *Atriplex halimus* (2011). <https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-8373-description>

Tenover FC. Mechanisms of antimicrobial resistance in bacteria. *Am J Med.* 2006, 119:62-70. 119(6 Suppl 1):S62-70. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2006.03.011>

Terkmane S, Gali L, Bourrebaba L, Shoji K, Legembre P, Konstantia G, Ioanna C, Bedjou F. Chemical composition, antioxidant, and anticancer effect of *Ruta chalepensis*'s extracts against human leukemic cells. *Phytothérapie.* 2017, 16:225–236. <https://doi.org/10.1007/s10298-017-1147-7>

Tigabu A, Getaneh A. Staphylococcus aureus, ESKAPE bacteria challenging current health care and community settings: A literature review. *Clin Lab.* 2021, 67:7. <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2020.200930>

Tungmunnithum D, Thongboonyou A, Pholboon A, Yangsabai A. Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Medicinal Plants for Pharmaceutical and Medical Aspects: An Overview. *Medicines (Basel).* 2018, 25;5(3):93. <https://doi.org/10.3390/medicines5030093>

Ullah A, Munir S, Badshah SL, Khan N, Ghani L, Poulson BG, et al. Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules.* 2020, 25:5243. <https://doi.org/10.3390/molecules25225243>

Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem Biol Interact.* 2006, 160(1):1-40. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2005.12.009>

Vaghasiya HY, Leva RL, Patel RM. Effect of Methanol and Aqueous Extracts from *Cinnamomum cassia* (Cinnamon) Bark on Some Microbial Strains. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 2019, 8(11):1-8. <http://www.ijcmas.com>

Références Bibliographiques

Vasan N, Baselga J, Hyman DM. A view on drug resistance in cancer. *Nature*. 2019, 575:299–309. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1730-1>

Walker DJ, Moñino I, González E, Frayssinet N, Correal E. Determination of ploidy and nuclear DNA content in populations of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Botan J Linnean Society*. 2005, 147(4):441-448. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2004.00379.x>

Walker DJ, Lutts S, Sánchez-García M, Correal E.. *Atriplex halimus L* : Sa biologie et ses utilisations. *J arid envir*. 2014, 100(101) :111-121. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.09.004>

Walter A, Unsleber S, Rismondo J, Jorge AM, Peschel A, Gründling A, et al. Phosphoglycerol-type wall and lipoteichoic acids are enantiomeric polymers differentiated by the stereospecific glycerophosphodiesterase GlpQ. *J Biol Chem*. 2020, 295:4024–34. <https://doi.org/10.1074/jbc.RA120.012566>

Wertheim HFL, Melles DC, Vos MC, van Leeuwen W, van Belkum A, Verbrugh HA, Nouwen JL. The role of nasal carriage in *Staphylococcus aureus* infections. *Lancet Infect Dis*. 2005, 5(12):751-62. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(05\)70295-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(05)70295-4)

Whalen JG, Mully TW. Spontaneous *Citrobacter freundii* infection in an immunocompetent patient. *Arch dermatol*, 2007, 143(1):124-135. <https://doi.org/10.1001/archderm.143.1.124>

White DG, McDermott PF. Emergence and Transfer of Antibacterial Resistance. *J Dairy Sci*. 2001, 84:151-155.

Wilkie IW, M Harper, Boyce JD, Adler B. *Pasteurella multocida*: diseases and pathogenesis. *Curr Top Microbiol Immunol*. 2012, 361:1-22. https://doi.org/10.1007/82_2012_216.

Wilson AD. (1994). Halophytic shrubs in semi-arid regions of Australia. In: Squires, V.R., Ayoub, A.T. (eds) Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands. Tasks for Vegetation Science, vol 32. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0818-8_8

Wilson M. (2008). Bacteriology of humans : an ecological perspective. Ed: Malden, MA : Blackwell, United States. Pp: 71,72, 78, 136.

Yadav BS, Yadav R, Yadav RB, Garg M. Antioxidant activity of various extracts of selected gourd vegetables. *J Food Sci Technol*. 2016, 53(4):1823–1833. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1886-0>. Epub 2016 Jan 30

Références Bibliographiques

Yakhlef G, Laroui S, Hambaba L, Aberkane MC, Ayachi A. Évaluation de l'activité antimicrobienne de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis*, plantes utilisées en médecine traditionnelle. *Phytothérapie* 2011, 9 :209–218. <https://doi.org/10.1007/s10298-011-0641-6>

Yepes L, Chelbi N, Vivo JM, Franco M, Agudelo A, Carvajal M, Martínez-Ballesta MC. Analysis of physiological traits in the response of *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*, and *Brassicaceae* plants to salinity stress. *Plant Physiol Biochem.* 2018, 132:145-155. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.040>

Yogeswara IBA, Kusumawati IGAW, Nursini NW. Antibacterial activity and cytotoxicity of sequentially extracted medicinal plant *Blumea balsamifera* Lin. (DC). *Biocatal Agri Biotech.* 2022, 43:102395. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102395>

Yovo M, Dedome SLO, Sessou P, Alitonou GA, Tchobo FP, Avlessi F, Sohounhloue DCK. Etude phytochimique et activités biologiques des extraits de deux plantes médicinales utilisées pour traiter les infections cutanées et les septicémies au Bénin. *Int J Innov Appl Stud.* 2020, 28(2):507-514.

Zahir H, Draiss G, Rada N, Abourrahouat A, Ait Sab I, Sbihi M, Bouskraoui M, Soraa N. 2019. Écologie microbienne et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées d'infections urinaires chez l'enfant au Maroc. *Revue Franco Labo.* 2019(511):65–70. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(19\)30229-1](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(19)30229-1)

Zhou H, Chen L, Ouyang K, Zhang Q, Wang W. Antibacterial activity and mechanism of flavonoids from *Chimonanthus salicifolius* SY Hu. and its transcriptome analysis against *Staphylococcus aureus*. *Front Microbiol.* 2023, 13:1103476. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1103476>

Zid E, Boukheris M. Quelques aspects de tolérance de l'*Atriplex halimus* L. en chlorure de sodium, multiplication, composition minéraux. *Oecol. Plant.* 1977, 12:351.

Zil-e-Huma, Tareen AM, Kaleem Ullah KU, Asmat TM, Abdul Samad AS, Iqbal AI, et al. Incidence of diarrheagenic *Escherichia coli* pathotypes in children suffering from diarrhea in tertiary care hospitals, Quetta, Pakistan. *Pak J Zool.* 2019, 51:2015–21. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.6.2015.2021>

Annexes

Tableau 1. Les Aminoglycosides

Antibiotique	Aminoglycosides
Exemples	Amikacine Gentamicine Néomycine Stréptomycine Tobramycine
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (la sous-unité 30S)
Le spectre d'action	Gram+ : uniquement synergique (Gentamicine)
	Gram- : Comprend la plupart des agents pathogènes communautaires et nosocomiaux, y compris les pseudomonas (elle ne couvre pas les cocci Gram négatif)
	Anaérobie : Pas d'activité
	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Altération du site ribosomal Modification des enzymes Diminution de la perméabilité cellulaire Pompes à efflux

Les Carbapénèmes :

Antibiotiques	Ertapénème	Imipénème/Cilastatin	Méropénème	Doripénème
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire			
Le spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> <i>Streptococcus</i> à l'exclusion celle résistante à la pénicilline <i>S.pneumoniae</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> <i>Streptococcus</i> y compris celle résistante à la pénicilline <i>S.pneumoniae</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> (uniquement susceptible à la Vancomycine)	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> y compris celle résistante à la pénicilline <i>S.pneumoniae</i> , <i>Listeria</i> +/- <i>Enterococcus faecalis</i> (uniquement susceptible à la Vancomycine)	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> y compris celle résistante à la pénicilline <i>S.pneumoniae</i> +/- <i>Enterococcus faecalis</i> (uniquement susceptible à la Vancomycine)
	Gram- : Large spectre organismes producteurs de BLSE; pas de couverture de <i>Pseudomonas</i> ou <i>Acinetobacter</i>	Gram- : Large spectre organismes producteurs de BLSE; <i>Pseudomonas</i> et quelques <i>Acinetobacter</i>	Gram- : Large spectre organismes producteurs de BLSE; <i>Pseudomonas</i> et quelques <i>Acinetobacter</i> , <i>Burkholderia</i>	Gram- : Large spectre organismes producteurs de BLSE; <i>Pseudomonas</i> et quelques <i>Acinetobacter</i> , <i>Burkholderia</i>
	Anaérobie : large spectre, <i>Bacteroides fragilis</i> et <i>Clostridium spp.</i> (pas <i>C.difficile</i>)	Anaérobie : large spectre, <i>Bacteroides fragilis</i> et <i>Clostridium spp.</i> (pas <i>C.difficile</i>)	Anaérobie : large spectre, <i>Bacteroides fragilis</i> et <i>Clostridium spp.</i> (pas <i>C.difficile</i>)	Anaérobie : large spectre, <i>Bacteroides fragilis</i> et <i>Clostridium spp.</i> (pas <i>C.difficile</i>)
	Atypique : Pas	Atypique : Pas de	Atypique : Pas de	Atypique : Pas de

	de d'activité	d'activité	d'activité	d'activité
Mécanisme de résistance	Combinaison d'une perméabilité réduite due à la perte de porines et à l'expression d'enzymes de type AmpC ou d'autres BLSE Carbapénemases (β -lactamases hydrolysant les carbapénèmes) - à médiation plasmidique			

Les Céphalosporines :

Antibiotiques	Première génération	Deuxième génération	Troisième génération	Quatrième génération	Cinquième génération	Céphalosporines Inhibiteur de β -lactamase
Exemples	Céfadroxile Céfazoline Céphalexine	Céfaclor Céfotétane Céfoxitine Céfprozil Céfuroxime axetile Céfuroxime sodium	Céfdinire Céfditorene Céfixime Céfotaxime Céfpodoxime proxetile Céftazidime Céftriaxone	Céfepime	Céftaroline	Céftazidime/ avibactam (IV) Céftolozane/tazobactam
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire					L'inhibiteur de β -lactamase se lie à la β -lactamase, l'empêche de décomposer la céphalosporine Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (sauf les SARM), <i>Streptococcus</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (couverture moins bonne que la première génération) et <i>Streptococcus</i> (légèrement meilleure que la première génération)	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (sauf les SARM), <i>Streptococcus</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (sauf les SARM), <i>Streptococcus</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (y compris les SARM), <i>Streptococcus</i>	Gram+ : <i>Streptococcus</i>

	Gram- : <i>E.coli,</i> <i>Klebsiella,</i> <i>Proteus mirabilis</i>	Gram- : <i>E.coli,</i> <i>Klebsiella,</i> <i>Proteus</i> <i>Nisseria</i> <i>Moraxella</i> <i>H.influenzae</i>	Gram- : <i>E.coli,</i> <i>Klebsiella,</i> <i>Proteus</i> <i>Nisseria</i> <i>Moraxella</i> <i>Haemophilus</i> <i>Salmonella</i> <i>Shigella</i> (Remarque : la plupart des entérobactéries sont couvertes)	Gram- : <i>Enterobacteriaceae,</i> <i>Nisseria</i> <i>Moraxella</i> <i>Haemophilus</i> Meilleure couverture en Gram (-) que la troisième génération, y compris <i>Pseudomonas</i> et stable contre certaines β -lactamases productrices d'AmpC	Gram- : Semblable à la troisième génération ; <i>Enterobacteriaceae,</i> <i>Haemophilus,</i> <i>Moraxella,</i> <i>Neisseria</i>	Gram- : <i>E. coli,</i> <i>Klebsiella,</i> <i>Proteus,</i> <i>Enterobacter,</i> <i>Citrobacter,</i> <i>Providencia,</i> <i>Pseudomonas</i>
	Anaérobie : <i>Actinomyces</i> <i>Lactobacillus</i> , <i>Peptococcus,</i> <i>Peptostreptococcus,</i> <i>P. acnes</i>	Anaérobie : <i>Peptococcus,</i> <i>Peptostreptococcus,</i> <i>P. acnes,</i> La céfoxitine et le céfotetan ont une large couverture anaérobie, y compris <i>B. fragilis</i> ; Cependant, la résistance augmente	Anaérobie : <i>Peptococcus,</i> <i>Peptostreptococcus,</i> <i>P. acnes,</i> le céfotaxime et la céfopérazone ont une certaine activité anaérobie gram-négative ; cependant, pas <i>B. fragilis</i>	Anaérobie : Pas de couverture fiable	Anaérobie : Pas de couverture fiable	Anaérobie : Large, y compris <i>B. fragilis</i> (ceftolozane/tazobactam uniquement)
	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Protéines de liaison à la pénicilline altérées Production de β -lactamases à spectre étendu Pompes à efflux Perméabilité réduite des membranes bactériennes					

Les Fluoroquinolones :

Antibiotiques	Ancienne génération de Fluoroquinolones	Nouvelle génération de Fluoroquinolones
Exemples	Ciprofloxacine Norfloxacine Ofloxacine	Levofloxacine Moxifloxacine
Mécanismes d'action	Inhibe l'ADN gyrase et la topoisomérase IV	
Spectre d'action	Gram + : <i>Staphylococcus</i> (résistance croissante), <i>Streptococcus</i> et les <i>Enterococcus</i> sont généralement résistants	Gram + : <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> et les <i>Enterococcus</i> sont généralement résistants
	Gram - : large y compris les <i>Pseudomonas</i> (résistance augmente)	Gram - : large ; la Lévofloxacine a une certaine couverture contre <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	Anaérobie : Pas d'activité	Anaérobie : La Moxifloxacine a une large couverture, y compris <i>B. fragilis</i> (bien que résistant)
	Atypique : <i>Chlamydophila pneumoniae</i> , <i>Mycoplasma pneumoniae</i> , <i>Legionella pneumoniae</i>	Atypique : <i>Chlamydophila pneumoniae</i> , <i>Mycoplasma pneumoniae</i> , <i>Legionella pneumoniae</i>
Mécanisme de résistance	Altération de la perméabilité des porines (OmpF) Altération du site cible en raison de mutations ponctuelles de la topoisomérase IV et de l'ADN gyrase Dégradation enzymatique Augmentation de l'efflux de médicaments Protection du site de liaison des inhibiteurs de la gyrase à médiation plasmidique (protéines Qnr)	

Les Fosfomycines :

Antibiotique	Fosfomycine
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire
Spectre d'action	Gram + : <i>Staphylococcus spp.</i> (y compris SARM), <i>Streptococcus spp.</i> et <i>Enterococcus spp.</i> (y compris VRE)
	Gram - : <i>E. coli</i> , <i>Citrobacter spp.</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Klebsiella spp.</i> (y compris les isolats producteurs de BLSE et la CRE), <i>Pseudomonas spp.</i>
	Anaérobie : Pas d'activité
	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Mutation chromosomique minimisant le transport de la Fosfomycine dans cellule bactérienne Inactivation d'origine plasmidique

Les Glycopeptides / Lipopeptides :

Antibiotiques	Glycopeptides	Lipopeptides
Exemples	Vancomycine	Daptomycine
Mécanisme d'action	Perturbe la membrane cellulaire bactérienne	Inhibe la synthèse intracellulaire de l'ADN, de l'ARN et de la protéine
Spectre d'action	Gram + : <i>Staphylococcus spp.</i> (y compris SARM et MRSE), <i>Streptococcus spp.</i> , <i>Enterococcus spp.</i>	Gram + : <i>Staphylococcus spp.</i> (y compris SARM, MRSE, VISA, VRSA), <i>Streptococcus spp.</i> , <i>Enterococcus spp.</i>
	Gram- : Pas d'activité	Gram- : Pas d'activité
	Anaérobie : Couverture anaérobie à Gram positif	Anaérobie : Couverture anaérobie à Gram positif
	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Altération des précurseurs de peptidoglycanes (phénotypes Van A, Van B, Van C) Altération de la paroi cellulaire bactérienne (épaississement)	Augmentation de l'effet MIC

Les Glycylcyclines :

Antibiotique	Glycylcycline
Exemple	Tigecycline
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (sous-unité 30S)
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus spp.</i> (y compris CA-MRSA), <i>Streptococcus</i> et <i>Enterococcus</i>
	Gram- : <i>Shigella</i> , <i>Serratia</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>E. coli</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>H. grippe</i> , <i>Sténotrophomonas</i> , <i>Acinetobacter</i> , y compris les organismes producteurs de BLSE Aucune couverture <i>Pseudomonale</i>
	Anaérobie : Broad, including <i>B. fragilis</i>
	Atypique : Y'a une activité
Mécanisme de résistance	Pompe d'efflux Mécanisme de résistance enzymatique (TETX)

Les Ketolides :

Antibiotique	Ketolide
Exemple	Telithromycine
Mécanisme	Inhibe la synthèse des protéines en se liant aux domaines II et V de l'ARNr 23S de la sous-
d'action	unité ribosomale 50S
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus aureus</i> (sensible à la méthicilline et à l'érythromycine uniquement), <i>Streptococcus pneumoniae</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i>
	Gram- : <i>H. influenzae</i> , <i>M. catarrhalis</i>
	Anaérobie : Pas d'activité
	Atypique : Y' a une activité
Mécanisme de résistance	Pompes efflux (MSR [A] et MEF) Modification du site cible par méthylation (gène ERM)

Les Lincosamides :

Antibiotique	Clindamycine
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (sous-unité 50S)
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (y compris certaines souches CA-MRSA bien qu'elles augmentent la résistance) et <i>Streptococcus</i> ; pas de couverture contre les entérocoques
	Gram- : Pas d'action
	Anaérobie : Large ; Augmentation de la résistance chez <i>B. fragilis</i>
	Atypique : Pas d'action
Mécanisme de résistance	Pompes à efflux Inactivation des enzymes Modification de la cible ribosomique

Les Lipoglycopeptides :

Antibiotique	Dalbavancine	Oritavancine	Telavancine
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire Dégrade l'intégrité de la membrane cellulaire	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire Dégrade l'intégrité de la membrane cellulaire
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus aureus</i> (y compris MSSA et MRSA) et <i>Streptococcus spp.</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus aureus</i> (y compris MSSA et MRSA) et <i>Streptococcus spp.</i> et <i>Enterococcus faecalis</i> (uniquement les isolats sensibles à la vancomycine)	Gram+ : <i>Staphylococcus aureus</i> (y compris MSSA et MRSA) et <i>Streptococcus spp.</i> et <i>Enterococcus faecalis</i> (uniquement les isolats sensibles à la vancomycine)
	Gram- : Pas d'activité	Gram- : Pas d'activité	Gram- : Pas d'activité
	Anaérobie : Couverture anaérobie à Gram positif	Anaérobie : Couverture anaérobie à Gram positif	Anaérobie : Couverture anaérobie à Gram positif
	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Altération des précurseurs de peptidoglycanes (phénotypes Van A)		

Les Macrolides :

Antibiotiques	Première génération des Macrolides	Deuxième génération des Macrolides
Exemples	Erythromycine	Azithromycine Clarithromycine
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (sous-unité des années 50)	
Spéctre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (MSSA, MSSE) uniquement, cependant, une résistance	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (MSSA, MSSE) uniquement, cependant, résistance considérable) et
	considérable) et <i>Streptococcus</i> (en particulier <i>S. pneumoniae</i> et <i>S. pyogenes</i>)	<i>Streptococcus</i> (en particulier <i>S. pneumoniae</i> et <i>S. pyogenes</i>) cependant, résistance considérable à <i>S. pneumoniae</i>
	Gram- : Limitée (<i>Moraxella</i> , <i>Bordetella pertussis</i> , <i>H. pylori</i> , <i>N. meningitidis</i> , <i>N. gonorrhoea</i> [augmentation de la résistance])	Gram- : <i>N. meningitidis</i> , <i>H. influenzae</i> (+/-), <i>N. gonorrhoea</i> , <i>Bordetella pertussis</i> , <i>Moraxella</i> , <i>Pasturella multocida</i> , <i>Bartonella</i> , <i>Campylobacter</i>
	Anaérobie : Minime (principalement des anaérobies à Gram positif)	Anaérobie : Minime (principalement des anaérobies à Gram positif)
	Atypique : Y'a une activité (ne devrait pas être utilisé pour <i>Legionella</i>)	Atypique : Y'a une activité
	Autre : +/- <i>M. avium</i>	Autre : <i>Mycobactéries</i> atypiques, <i>Chlamydia trachomatis</i> (azithromycine)
Mécanismes de résistance	Modification du site cible par méthylation (gène erm) Pompes d'efflux (Msr[A] et mef) Inactivation antimicrobienne par des phosphorylases ou des estérases	

Les Monobactames :

Antibiotique	Aztreonam (IV, INH)
Mécanisme d'action	Inhibits cell wall synthesis
Spéctre d'action	Gram+ : Pas d'action Gram- : Large spectre, y compris les <i>Pseudomonas</i> (bien que l'augmentation des taux de résistance pseudomonale) et manque de couverture de la production de BLSE organismes Anaérobie : Pas d'activité Atypique : Pas d'action
Mécanismes de résistance	Pompes à efflux Production de β -lactamases à spectre étendu Perméabilité réduite due à la perte de porines

Les Nitrofuranes :

Antibiotique	Nitrofurane
Exemples	Macrochantine Nitrofurantoïne macrocristale
Mécanisme d'action	Inhibe les enzymes bactériennes Attaque les protéines ribosomales bactériennes entraînant une inhibition complète de la synthèse des protéines bactériennes
Spéctre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> spp. <i>Streptococcus</i> spp., et <i>Enterococcus</i> spp. Gram- : <i>E. coli</i> , +/- <i>Enterobacter</i> , +/- <i>Citrobacter</i> , +/- <i>Klebsiella</i> (y compris quelques isolats producteurs de BLSE) Anaérobie : Pas d'action Atypique : Pas d'action
Mécanismes de résistance	Gènes issus de chromosomes et de plasmides

Les Nitroimidazoles :

Antibiotique	Nitroimidazole
Exemple	Metronidazole
Mécanisme d'action	Interfère avec l'activité de l'ADN
Spectre d'action	Gram+ : Pas d'activité
	Gram- : Pas d'activité
	Anaérobie : Large, y compris <i>B. fragilis</i> , <i>clostridium difficile</i>
	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Excellente biodisponibilité orale Réduction du pyruvate : ferredoxine oxydoréductase (PFOR) et hydrogénase, qui limite l'absorption cellulaire et entraîne une inactivation ultérieure La résistance est rare

Les Oxazolidinones :

Antibiotique	Oxazolidinones	
Exemple	Linezolid	Tedizolid
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (sous-unité 50S)	
Spectre d'action	Gram+ : Large, y compris SARM, MRSE, VRE	Gram+ : <i>Staphylococcus spp.</i> y compris le SARM, <i>Streptococcus spp.</i> , <i>Enterococcus spp.</i>
	Gram- : Pas d'activité	Gram- : Pas d'activité
	Anaérobie : Y'a une activité (y compris des anaérobies à Gram négatif)	Anaérobie : Y'a une activité (y compris des anaérobies à Gram négatif)
	Atypique : Y'a une activité	Atypique : Y'a une activité
Mécanismes de résistance	La résistance est souvent associée à une utilisation prolongée du linézolide Mutation du site cible.	Potentiellement cible la mutation du site avec d'autres chromosomiques Mutations

Les Pénicillines :

Antibiotiques	Pénicilline	Anti-staphylocoque (résistant à la pénicillinase)	Aminopénicilline	Anti-pseudomonal	β Lactame/Inhibiteur de β -Lactamase
Exemples	Pénicilline G Pénicilline V	Nafcilline Oxacilline Dicloxacilline	Ampicilline Amoxicilline	Carboxypénicilline : Ticarcilline Ureidopénicilline	Ticarcilline/ Acide clavulanique Piperacilline/Tazobactame Ampicilline/Sulbactame Amoxicilline/Acide clavulanique
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire				L'inhibiteur de la β -lactamase se lie à la β -lactamase, l'empêche de briser la pénicilline Inhibe la synthèse de la paroi cellulaire
Spectre d'action	Gram+ : <i>Streptococcus</i> , <i>Enterococcus</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus spp.</i> (Pas de	Gram+ : <i>Streptococcus Spp</i>	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> ,	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> ,

	<i>faecalis</i> , +/- <i>faecium</i>	couverture SARM) et <i>Streptococcus</i> <i>spp.</i> Ne couvre pas <i>Enterococcus</i>	<i>Enterococcus</i> , <i>Listeria</i>	+/- <i>Enterococcus</i> Pas aussi bon que les autres pénicillines contre ces Gram+	<i>Enterococcus</i> L'ampicilline / sulbactam et l'amoxicilline / l'acide clavulanique ont une activité entérococcique et anaérobie légèrement meilleure
	Gram- : <i>Neisseria</i> <i>meningitidis</i> (pénicilline G uniquement), <i>Treponema</i> <i>pallidum</i> , <i>pasteurella</i>	Gram- : Pas d'activité	Gram- : <i>E. coli</i> (dans de nombreuses institutions, jusqu'à 50% des isolats sont résistants), <i>Proteus mirabilis</i> <i>H. pylori</i> (<i>amoxicillin</i>), <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i>	Gram- : Large - y compris <i>Pseudomonas</i>	Gram- : Large - y compris <i>Pseudomonas</i> uniquement de la ticarcilline / acide clavulanique et la pipéracilline / tazobactam ont une activité antipseudomonale <i>E. coli</i> devient de plus en plus résistant à l'ampicilline / sulbactam L'ampicilline / sulbactam à forte dose a un rôle dans le traitement de MDR <i>Acinetobacter</i> <i>Baumannii</i>
	Anaérobie : <i>Peptostreptoco</i> <i>ccus</i> , <i>Actinomyces</i> , <i>Clostridium</i> <i>non-difficile</i>	Anaérobie : <i>Peptostreptococ</i> <i>cus</i>	Anaérobie : Gram + anaérobies tels que <i>Peptococcus</i> , <i>Peptostreptococ</i> <i>cus</i> , <i>Clostridium Non-</i> <i>Difficile</i> , <i>Actinomyces</i>	Anaérobie : Large y compris <i>Bacteroides</i> <i>fragilis</i> et <i>Clostridium</i> <i>spp.</i>	Anaérobie : Large y compris <i>Bacteroides fragilis</i> e <i>Clostridium spp.</i>
	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité	Atypique : Pas d'activité
Mécanismes de résistance	Protéines de liaison à la pénicilline modifiées Pompes d'efflux Production de β -lactamases à spectre étendu Perméabilité réduite des membranes bactériennes				

Les Polymyxines :

Antibiotique	Polymyxine	
Exemples	Polymyxine E (colistine, colistimethate sodium)	Polymyxine B
Mécanisme d'action	Perturbe la membrane des cellules bactériennes	
Spectre d'action	Gram+ : Pas d'activité	
	Gram- : <i>P. aeruginosa</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>H. influenzae</i> , <i>E. coli</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , <i>Acinetobacter spp.</i>	
	Anaérobie : Pas d'activité	
	Atypique : Pas d'activité	
Mécanismes de résistance	Hétérorésistance rapportée	

Peu fréquent ; cependant, la résistance augmente

Les Streptogramines :

Antibiotique	Streptogramine
Exemple	Quinupristine /dalfopristine
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (sous-unité 50S)
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (MSSA, MRSA, MSSE, MRSE), <i>Streptococcus</i> spp. <i>Enterococcus faecium</i> .
	Gram- : <i>Moraxella</i> , <i>H. influenzae</i>
	Anaérobie : Pas d'activité
	Atypique : Y'a une activité
Mécanismes de résistance	Inactivation des médicaments par les enzymes Efflux ou transport actif Altérations conformationnelles codées par le plasmide dans la cible ribosomique site de liaison

Les Sulfonamides :

Antibiotique	Sulfonamide
Exemple	Sulfamethoxazole/triméthoprime
Mécanisme d'action	SMX inhibe la formation d'acide dihydrofolique à partir de PABA Le TMP inhibe la réduction de l'acide dihydrofolique à la tétrahydrofolate
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> spp. (y compris CA-MRSA), <i>Streptococcus</i> (augmentation de la résistance), <i>Nocardia</i> spp.
	Gram- : <i>Enterobacteriaceae</i> (sauf <i>Providencia</i> sont résistantes et la résistance à <i>E. coli</i> augmente), <i>H. influenzae</i> , <i>Stenotrophomonas</i>
	Anaérobie : Non fiable
	Atypique : Pas d'activité
Autre :	<i>Protozoaires</i> tels que <i>Pneumocystis jirovecii</i> (PJP) et <i>Toxoplasma Gondii</i>
Mécanismes de résistance	Altérations de la perméabilité de la paroi cellulaire bactérienne Mutations chromosomiques dans les gènes cibles qui codent pour la dihydroptéroate synthétase et la dihydrofolate réductase Modifications de la voie de synthèse de l'ADN Perte mutationnelle de la capacité de certaines bactéries à méthyler l'acide désoxyuridylique en bactéries thymidyliques dépendantes de l'apport externe de thymidine Résistance médiée par plasmide ou par transposon

Les Tétracyclines :

Antibiotique	Tétracyclines
Exemples	Doxycycline Minocycline Tétracycline
Mécanisme d'action	Inhibe la synthèse des protéines (sous-unité 30S) et bloque la liaison de l'ARN de transfert aminoacyl
Spectre d'action	Gram+ : <i>Staphylococcus</i> (y compris CA-MRSA), <i>Streptococcus</i> spp. (résistance considérable observée), <i>E. faecalis</i> (pas de première ligne), <i>Listeria</i> spp.
	Gram- : <i>Enterobacteriaceae</i> (not always reliable), <i>Vibrio</i> spp., <i>Yersinia pestis</i> (doxycycline), <i>Acinetobacter</i> , <i>Burkholderia cepacia</i>

	(minocycline), <i>Bartonella</i> , <i>Stenotrophomonas</i> , <i>Campylobacter</i> spp., <i>Chlamydia</i> spp., <i>Neisseria gonorrhoeae</i> , <i>H. pylori</i> (tetracycline)
	Anaérobie : Y'a une activité
	Atypique : Y'a une activité
	Autres : <i>Spirochètes</i> (maladie de Lyme et Borréliose) et non tuberculeux <i>Mycobacteria</i> spp., <i>Rickettsiae</i> (doxycycline), <i>Coxiella</i> , <i>Bacillus anthracis</i> , parasites (minocycline) (par exemple, <i>Toxoplasma gondii</i> , <i>Trichomonas vaginalis</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> et <i>Giardia lamblia</i> , etc.)
Mécanisme de résistance	Pompes à efflux (tet[B]) Protéines de protection ribosomique

Annexe 2

<p>Etat frais</p>	<p>Ce test permet de déterminer la forme, l'arrangement et surtout la mobilité bactéries.</p> <p>Il consiste en l'observation d'une goutte de suspension bactérienne préparée avec de l'eau physiologique et placée entre lame et lamelle.</p> <p>L'observation se fait au microscope optique.</p> <p>Mode opératoire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Déposer une goutte d'une suspension bactérienne (1 à 10 colonies placées dans 5 ml d'eau physiologique) sur une lame de verre. - Recouvrir la goutte d'une lamelle couvre objet. - Observer immédiatement au microscope (objectif x40, condenseur non relevé maximum, diaphragme non complètement ouvert)
<p>Coloration de Gram</p>	<p>C'est une double coloration qui nous permet de connaître la forme, l'arrangement, la pureté ainsi que la nature biochimique de la paroi des cellules purifiées.</p> <p>La coloration permet de classer les bactéries selon leur capacité à fixer le cristal violet. Celles qui possèdent une enveloppe externe sont décolorées lors du lavage à l'éthanol (Gram-), alors que celles qui n'en possèdent pas vont retenir la coloration (Gram+).</p> <p>Mode opératoire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Préparer et fixer un frottis bactérien à la chaleur du bec Bunsen. - Recouvrir au violet de Gentiane (cristal violet) pendant 1min. - Eliminer l'excès par l'eau courante; - Ajouter du Lugol (mordant) et appliquer pendant 1min, - Eliminer l'excès par l'eau courante; - Traiter à l'alcool 95° pendant quelques secondes (10-15 secondes), puis Rincer à l'eau. - Recolorer à la Fuschine (safranine) pendant 60 à 75 secondes ; rinçage à l'eau pure. - Séchage; Les bactéries Gram positif se colorent en violet alors que les Gram négatif se colorent en rose.
<p>Test de l'oxydase</p>	<p>Appelé aussi phénylène diamine oxydase, est une enzyme intervenant dans divers couples d'oxydo-réduction. Ce test est à la base de l'identification des bactéries Gram (-).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placer un disque d'oxydase sur une lame propre et stérile. - Déposer à l'aide d'une pipette Pasteur (il est strictement interdit d'utiliser l'anse de platine pour ne pas fausser le résultat) une goutte de suspension bactérienne pure sur " un disque oxydase", celui-ci contient de l'oxalate de diméthyl paraphénylène diamine. - Les bactéries oxydase-positives donnent rapidement une coloration violet foncé ; dans le cas contraire, il n'y a pas de coloration.
<p>Test de la catalase</p>	<p>C'est une enzyme décomposant l'eau oxygénée en eau et en oxygène gazeux. $H_2O_2 \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2O$</p> <ul style="list-style-type: none"> - La méthode consiste à prélever une colonie du germe à étudier (ex. les staphylocoques pour les Gram + et les entérobactéries pour les Gram -) sur l'extrémité d'une anse de platine que l'on plonge ensuite dans une goutte d'eau oxygénée (à l'aide d'une pipette Pasteur). Le dégagement de bulles gazeuses signe la présence de l'enzyme.

Identification par le système API

- Réunir fond et couvercle d'une boîte d'incubation (support de la galerie) et répartir de l'eau dans les alvéoles pour créer une atmosphère humide.
 - Déposer stérilement la galerie dans la boîte d'incubation.
 - Préparer la suspension bactérienne à une opacité 0,5 sur l'échelle Mc Farland .
 - Inoculer la galerie : la suspension bactérienne à analyser, souvent obtenue suite à une purification des colonies bactériennes sur milieux sélectifs, est versée dans chacun des tubules de la galerie.
- L'objectif est de réaliser des tests en aérobiose (riche en oxygène). Pour les substrats dont le nom est souligné, il convient de remplir la cupule avec de l'huile de paraffine. Cette huile empêche le contact avec l'oxygène, créant ainsi un milieu anaérobique (absence d'oxygène) et empêche également les composés volatiles synthétisés lors de la réaction de s'échapper du tube.
- Incuber de 18 à 24h à température adaptée.
 - Refermer la boîte d'incubation à 37 °C pendant 18-24 heures
 - Pour la lecture, il convient de regarder si la réaction est positive ou négative séparément pour chacun des tests.

Annexe 3

<i>E. coli</i> ATCC25922	<p>Souche de référence : Il s'agit d'une souche de référence pour le contrôle de qualité dans les laboratoires de microbiologie.</p> <p>Formation de biofilm : Elle est reconnue comme un producteur puissant de biofilm, ce qui en fait un modèle d'étude pour ce type de développement bactérien.</p> <p>Utilisation pour les tests de sensibilité aux antimicrobiens : Elle est fréquemment utilisée comme organisme de contrôle dans les tests de sensibilité aux antibiotiques.</p> <p>Source d'isolement : La souche a été isolée à partir d'un échantillon clinique à Seattle en 1946.</p> <p>Format disponible : Elle peut être trouvée sous forme lyophilisée, congelée, ou en dispositif <u>KWIK-STIK</u> pour une utilisation facile.</p>
	<p>Traçabilité : La traçabilité à la souche de référence est garantie, assurant son authenticité.</p> <p>Entérobactérie : Elle appartient à la famille des Entérobactéries et au genre <i>Escherichia</i>.</p> <p>Caractérisation complète : Un génome annoté complet est disponible pour cette souche.</p> <p>Antagonisme potentiel : Il a été observé que ATCC 25922 peut être antagoniste envers d'autres souches d'<i>E. coli</i>, notamment celles sensibles à la <u>fusidique</u>.</p>

<p><i>E. coli</i> ATCC 8739</p>	<p>Type : Bactérie Gram négative, en forme de bâtonnet (bacille).</p> <p>Motilité : Peut-être mobile grâce à des flagelles péritriches ou non mobile.</p> <p>Métabolisme : Facultativement anaérobie, capable de respiration et de fermentation.</p> <p>Origine : Strain d'origine fécale.</p> <p>Utilisations courantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tests de stérilité : Utilisée pour évaluer l'efficacité des méthodes de stérilisation. ✓ Tests d'efficacité antimicrobienne : Utilisée pour évaluer l'efficacité des désinfectants et des antiseptiques. ✓ Contrôle qualité : Souche de référence pour diverses applications en laboratoire. ✓ Recherche : Étudiée dans des travaux de biologie moléculaire et de génomique. <p>Températures de croissance : Se développe entre 7°C et 50°C, avec un optimum à 37°C.</p> <p>Adaptation : Peut survivre dans des milieux acides (pH jusqu'à 4,4) et des environnements avec une activité de l'eau minimale de 0,95.</p> <p>Remarque : Bien que non pathogène, ATCC 8739 peut être utilisé comme substitut de souches pathogènes <i>E. coli</i> dans certaines études.</p>
<p><i>P.aeruginosa</i> ATCC9027</p>	<p>Gram négatif non fermentant : C'est une bactérie en forme de bâtonnet (bacille) qui ne fermente pas les sucres et ne prend pas la coloration Gram.</p> <p>Aérobic strict : Elle a besoin d'oxygène pour se développer.</p> <p>Non sporulée : Elle ne produit pas de spores, des structures de résistance.</p> <p>Mobile : Elle possède un flagelle polaire qui lui permet de se déplacer.</p> <p>Ubiquitaire : Elle est présente dans l'environnement, notamment dans l'eau et les sols.</p> <p>Facteurs de virulence : Elle peut produire des facteurs de virulence tels que les systèmes de sécrétion de type II et III, ainsi qu'un flagelle, qui contribuent à ses</p>

	<p>infections.</p> <p>Potentiel biotechnologique : Certaines études suggèrent qu'elle pourrait être utilisée dans la production industrielle de <u>mono-rhamnolipides</u>.</p> <p>Souche de référence : Elle est largement utilisée comme souche de référence dans les études de microbiologie, notamment pour les tests de stérilité.</p> <p>Sensibilité aux antibiotiques : Contrairement à certaines souches de <i>P. aeruginosa</i>, ATCC 9027 a été décrite comme étant sensible aux antibiotiques.</p> <p>Absence de certains gènes : Elle ne possède pas certains gènes liés à la résistance aux antibiotiques et aux métaux lourds présents dans d'autres souches comme PA7, selon des études NCBI.</p> <p>Absence du gène <i>mucA</i> : L'absence de ce gène, régulateur négatif du facteur sigma AlgU, pourrait influencer son phénotype (par exemple, son aptitude à produire de l'alginate).</p>
<p><i>P. aeruginosa</i> ATCC 29553</p>	<p>Type de bactérie : Il s'agit d'un bacille à Gram négatif, non sporulé, mobile grâce à des flagelles polaires.</p> <p>Habitat : <i>P. aeruginosa</i> est une bactérie ubiquitaire, présente dans le sol, l'eau et les environnements humides.</p> <p>Croissance : Elle se développe facilement sur des milieux de culture standard, entre 10°C et 42°C.</p> <p>Pigments : Elle produit de la fluorescéine (jaune-vert) et de la pyocyanine (bleu-vert), ce qui permet son identification visuelle.</p> <p>Utilisation : Cette souche est largement utilisée comme souche de contrôle pour les tests de sensibilité aux antibiotiques et pour les contrôles de qualité en microbiologie.</p> <p>Types de colonies : Deux types de colonies peuvent être observés : une forme plate avec une surface rugueuse et une forme plus petite et compacte. Pour éviter la prolifération de la seconde colonie, il est recommandé d'éviter les repiquages en milieu liquide.</p> <p>Sensibilité aux antibiotiques : La souche ATCC 27853 peut présenter une résistance à certains antibiotiques, comme la ceftriaxone, selon la méthode de test utilisée.</p>
<p><i>S. aureus</i> ATCC 25923</p>	<p>Sensibilité aux antibiotiques : Contrairement aux souches résistantes à la méthicilline (<u>SARM</u>), <i>S. aureus</i> ATCC 25923 est sensible à la méthicilline et à d'autres antibiotiques.</p> <p>Utilisation en laboratoire : Cette souche est utilisée comme contrôle positif dans les tests de sensibilité aux antibiotiques, notamment pour évaluer l'efficacité des traitements contre les infections staphylococciques.</p> <p>Caractérisation génomique : Le génome de <i>S. aureus</i> ATCC 25923 a été séquencé et caractérisé, révélant un chromosome de 2 778 854 paires de bases et</p>

	un plasmide de 27 491 paires de bases, <u>selon le site de la NIH</u> .
<p><i>S. aureus</i> ATCC29523</p>	<p>Type de souche : Il s'agit d'une souche de <i>Staphylococcus aureus</i> subsp. <i>aureus</i>.</p> <p>Utilisation : Elle est largement utilisée comme souche de référence pour les tests de sensibilité aux antibiotiques et comme contrôle qualité pour divers produits.</p> <p>Préparation : La souche peut être fournie sous forme lyophilisée, parfois sous forme de pastilles ou de boules, prête à être réhydratée pour la culture.</p> <p>Morphologie : C'est une coccobactérie Gram positif, de forme sphérique (cocci).</p> <p>Autres caractéristiques : Elle est catalase positive, ce qui signifie qu'elle produit l'enzyme catalase qui décompose le peroxyde d'hydrogène. Elle est également immobile et asporulée.</p> <p>Besoin en oxygène : C'est une bactérie facultativement anaérobie, ce qui signifie qu'elle peut survivre en présence ou en absence d'oxygène.</p> <p>Génomique : Son génome complet a été séquencé, y compris le chromosome et un plasmide de 27,5 kb. Des études génomiques ont également montré que des souches dérivées de l'ATCC 25923 peuvent perdre des fragments d'ADN.</p> <p>Contrôle qualité : Elle est souvent utilisée dans les tests de performance des milieux de culture, des colorations et des réactifs.</p>
<p><i>Salmonella spp</i> ATCC14028</p>	<p>Morphologie : Bactérie Gram négative, en forme de bacille, mobile, non sporulée et anaérobie facultative.</p> <p>Taille : 0,7-1,5 µm de large par 2,0-5,0 µm de long.</p> <p>Culture : Croissance sur milieu de culture classique, mais nécessite une concentration de 100 µg/mL d'ampicilline pour éviter la perte du plasmide portant le gène GFP.</p> <p>Fluorescence : Produit la GFP, qui lui confère une fluorescence verte ou jaune-vert sous excitation UV (501 nm) avec une émission à 511 nm.</p> <p>Utilisations : Couramment utilisée comme souche modèle pour l'étude de la pathogénicité de <i>Salmonella</i>, la transfection de gènes et d'autres applications en recherche.</p> <p>Sensibilité : Cette souche est stable sur 5 passages consécutifs dans les conditions de culture recommandées, mais une perte du plasmide peut survenir si la concentration en ampicilline est faible ou nulle.</p>
<p><i>Bacillus spizizinii</i> ATCC 6633</p>	<p>Morphologie : C'est une bactérie à Gram positif, ce qui signifie qu'elle prend une coloration violette après la coloration de Gram en raison de sa paroi cellulaire épaisse.</p> <p>Forme : Elle est en forme de bâtonnet (bacille) et a la capacité de former des spores, ce qui lui confère une grande résistance aux conditions environnementales difficiles.</p>

Métabolisme : C'est une bactérie aérobique, ce qui signifie qu'elle a besoin d'oxygène pour sa croissance.

Utilisation : La souche ATCC 6633 est largement utilisée comme souche de référence dans les laboratoires pour des applications telles que la validation de protocoles d'analyse des spores, les tests de compétence du personnel, et les contrôles qualité, notamment dans les tests de stérilité et la détection de micro-organismes.

Résistance : Elle est connue pour sa résistance, en partie grâce à sa capacité à former des spores, ce qui la rend utile pour tester l'efficacité des méthodes de stérilisation.

Pathogénicité : Bien que *Bacillus subtilis*, dont *Bacillus spizizenii* est une sous-espèce, soit généralement considéré comme non pathogène, des cas d'intoxication alimentaire ont été signalés.

Croissance : Sa croissance peut varier en fonction de la température, du milieu de culture et de la durée d'incubation, mais les colonies peuvent être mates, sèches, brillantes, irrégulières, opaques, plates ou érodées.