



République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement supérieure et de la recherche scientifique
Université de Abdelhamid ibn badis Mostaganem
Faculté des sciences de la nature et de vie
Département de biologie



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : Microbiologie fondamentale

Par

KAOUS Oumelkheir Halima Saadia

&

MAATI Chahinez

Thème :

Effet antagoniste entre les bactéries lactiques et les germes pathogènes responsable des infections urinaires

Soutenue le **24/06/2026** devant le jury composé de :

Président	MENED Nadjjet	MCA	Université de Mostaganem
Encadreur	CHOUGRANI Fadela	Pr	Université de Mostaganem
Examinatrice	KOUADRI BOUDJELHTIA Nacima	MCB	Université de Mostaganem

Année universitaire :2025/2026

Remerciements :

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

Nous remercions tout d'abord Allah le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la patience, le courage et la persévérance nécessaires pour mener ce mémoire à son aboutissement.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadrante, **Pr. CHOUGRANI Fadela**, pour son encadrement, sa disponibilité, ses orientations judicieuses, ses précieux conseils ainsi que son soutien constant tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance aux membres du jury :

Dr. MENED Nadjet, qui nous fait l'honneur de présider ce jury de soutenance et d'évaluer notre travail ;

Dr. KOUADRI BOUDJELHTIA Nacima pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour l'intérêt porté à cette étude.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Dr. DAHOU** et **Melle.ATTORA** pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce travail, notamment pour avoir mis à notre disposition les souches bactériennes nécessaires aux différentes expérimentations menées dans le cadre de cette étude.

Nous remercions chaleureusement l'ensemble des enseignants ainsi que le personnel administratif de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, particulièrement ceux de l'option Biologie, pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée tout au long de notre cursus universitaire.

Nos remerciements vont également à tout le personnel du laboratoire de microbiologie, notamment **M. Djellali**, responsable du laboratoire, pour son accueil, son assistance technique, ses conseils et les moyens mis à notre disposition pour la réalisation de la partie expérimentale de ce mémoire

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont soutenues et encouragées, de près ou de loin, tout au long de l'élaboration de ce mémoire. À tous, nous exprimons notre profonde reconnaissance et nos plus vifs remerciements.

Dédicace

Avant toute chose, je remercie Allah le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la santé, la force, la patience et la réussite tout au long de mon parcours universitaire.

Je dédie humblement ce travail à mes chers parents, qui ont été mes piliers, mon inspiration et ma motivation tout au long de ce parcours.

*À **mon père**, pour son soutien indéfectible, et à **ma mère**, pour sa lumière, son amour inconditionnel et sa patience infinie. Que Dieu les protège et les bénisse.*

*À **mes grands-parents**, en témoignage de mon profond respect, de mon affection et de ma reconnaissance pour leur amour, leurs prières et leurs encouragements qui m'ont toujours accompagnée. Que Dieu les protège et les comble de ses bienfaits*

*À ma sœur **Hakima** bien-aimée ainsi qu'à ma belle-sœur **Tam Tam**, pour leur soutien, leur présence constante et leurs encouragements tout au long de mes études.*

*À mes deux frères, **Lakhder et Abdelnour**, pour leur affection, leur confiance et leur soutien précieux.*

*À **ma famille élargie**, à mes tantes, oncles, cousins et cousines, dont le soutien et les encouragements ont été une source de force et de courage.*

*À **mon binôme Chahinez**, avec qui j'ai partagé ce parcours universitaire. Merci pour notre collaboration fructueuse, notre entraide et tous les moments partagés durant la réalisation de ce mémoire.*

À toutes les personnes qui m'ont soutenue de près ou de loin, je dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon respect.

Oumelkheïr halima saadia

Dédicace

À Dieu Tout-Puissant Avant tout, je rends grâce à Allah pour Sa lumière qui a guidé mes pas, pour la force qu'Il m'a accordée et pour Sa bienveillance infinie qui m'a permis d'atteindre ce jour tant attendu.

À mon cher père

À celui qui a toujours soutenu mes ambitions, à la lumière qui a éclairé mon chemin, à l'être cher dont je porte le nom avec tant de fierté. À mon premier enseignant, qui s'est consacré toute sa vie à nous offrir le meilleur.

À ma chère mère

À celle qui a été mon refuge et mon soutien indéfectible, à celle grâce à qui j'ai trouvé ma voie et ma force. À ce cœur généreux dont les prières m'ont constamment accompagnée.

À mes chers frères et à ma chère sœur

À ma source de force et de motivation, à mes précieux soutiens, à mes piliers solides et à ceux qui illuminent mon quotidien par leur présence, leur affection et leurs encouragements.

À moi-même

À mon ambition, à ma persévérance et à cette volonté qui n'ajamais faibli face aux obstacles. À tous les efforts consentis, aux sacrifices accomplis et à la détermination qui m'ont permis d'atteindre cet objectif.

À mon binôme Oumelkheïr ;

À celle qui a partagé avec moi les moments de travail, de doute et de réussite. Merci pour ton soutien moral, ta patience, ta compréhension et ton encouragement constant tout au long de ce projet. Que cette réussite soit également le reflet de tous les efforts que nous avons fournis ensemble.

Je dédie humblement ce travail à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à ma réussite.

Chahinez

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ATB : Antibiotique

BL : Bactérie Lactique / Bactéries Lactiques

BLSE : Bêta-Lactamase à Spectre Élargi (souvent liée aux uropathogènes résistants)

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

DO : Densité Optique

ECBU : Examen Cytobactériologique des Urines

EMP : Voie d'Embden-Meyerhof-Parnas

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène IU : Infection Urinaire / Infections Urinaires

MHA : Gélose Mueller-Hinton (Mueller-Hinton Agar - milieu utilisé pour l'antibiogramme)

MRS : Milieu de Man, Rogosa et Sharpe (milieu spécifique pour la culture des bactéries lactiques)

NaCl : Chlorure de Sodium (sel utilisé pour la solution saline physiologique)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCR : Réaction en Chaîne par Polymérase (Polymerase Chain Reaction)

pH : Potentiel Hydrogène

PLA : Acide Phényllactique (Phenyllactic Acid)

UFC : Unité Formant Colonie (unité de mesure de la concentration bactérienne)

Listes des tableaux :

Tableau1 : Les différentes genre des bactéries lactiques et leurs caractéristiques physiologiques et technologique Ayed et al. (2024).....	9
Tableau 2 : Diversité structurale et classification des bactériocines de classe II : Analyse des séquences primaires (Dortu et Thonart, 2009).....	45
Tableau 03 : souches des bactéries lactiques.....	53
Tableau 04 : souches des bactéries pathogènes.....	54
Tableau 05 : Profil des antibiotiques sélectionnés pour le test d'antibiogramme.....	57
Tableau 06 : observation macroscopique des bactéries lactiques de référence.....	60
Tableau07 : observation macroscopique des bactéries pathogènes de référence.....	62
Tableau 08 : Caractéristique microscopique des bactéries lactiques (LAB).....	63
Tableau 09 : Aspect microscopique des uropathogènes et leurs caractéristiques morphologiques.....	64
Tableau 10 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes obtenus par la méthode des puits.....	68
Tableau11 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes obtenus par la méthode de diffusion sur disques.....	71
Tableau12 : Sensibilité des bactéries pathogènes aux antibiotiques testés, exprimée par les diamètres des zones d'inhibition (mm).....	76

Listes des figures :

Figure 1: Classification Taxonomique des bactéries lactiques.....	8
Figure 2 : Aspect microscopique de <i>Lactobacillus casei</i> group après coloration de Gram.....	10
Figure 3 : Aspect microscopique de <i>Lactococcus lactis</i> après coloration de Gram.....	11
Figure 4 : morphologie microscopique de <i>Streptococcus. spp</i>	13
Figure 5 : Aspect microscopique de <i>Leuconostoc</i> après coloration de Gram	14
Figure 6 : Coloration de Gram de <i>Weissella confusa</i>	15
Figure 7 : Représentation tridimensionnelle de coques Gram positive du genre <i>Pediococcus</i> organisées en tétrades.....	17
Figure 8 : Anatomie du système urinaire humain et coupe longitudinale du rein.....	21
Figure 9 : <i>Escherichia coli</i> (coloration de Gram à Gram négatif).....	25
Figure 10 : Coloration de Gram de <i>Klebsiella pneumoniae</i>	28
Figure 11: <i>Staphylococcus saprophyticus</i> coloration de Gram.	30
Figure 12 : <i>Proteuse mirabilis</i> coloration de Gram.....	32
Figure 13 : Mécanismes d'action des bactériocines (classes I, II et III) sur la membrane et la paroi de la cellule bactérienne (Taale et al., 2016).....	47
Figure 14 : Procédure du test de diffusion sur disque (Méthode de MUELLER-HINTON).....	56
Figure 15 : Aspect des bactéries lactiques sur milieu liquide MRS	59
Figure 16 : Aspect macroscopique des bactéries lactiques sur milieu solide MRS.....	60
Figure 17 : Aspect des germes pathogènes sur milieu liquide bouillon nutritif.....	61
Figure 18: Aspect macroscopique des uropathogènes sur milieu solide MacConkey et Chapman.....	61
Figure 19 : Aspect microscopique des bactéries lactiques (G×100).	63
Figure 20 : Test catalase négative.....	66
Figure 21: Test catalase positive	66
Figure 22 : Activité antagoniste des bactéries lactiques contre les souches pathogènes par la méthode des puits.....	68
Figure 23: Résultats antagoniste des bactéries lactiques contre les souches indicatrices par la méthode des puits.....	70
Figure 24: Diamètres des zones d'inhibition des bactéries lactiques vis-à-vis des souches pathogènes par la méthode de diffusion sur disque.....	72
Figure 25 : Résultats antagoniste des bactéries lactiques contre les souches indicatrices par la méthode de diffusion sur disques.....	73

Figure 26: Résultats d'antibiogramme sur les bactéries pathogènes	75.
Figure27 : Antibiotogramme comparative de quatre espèces bactériennes uropathogènes....	76

Résumé :

Les bactéries lactiques sont reconnues pour leurs propriétés probiotiques et leur capacité à produire des composés antimicrobiens tels que l'acide lactique, les bactériocines et le peroxyde d'hydrogène. Les infections urinaires, principalement causées par *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis* et *Staphylococcus saprophyticus*, constituent un problème majeur de santé publique en raison de leur fréquence et de la résistance croissante aux antibiotiques. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'activité antagoniste de *Lactobacillus spp.*, *Lactococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus* vis-à-vis de ces germes pathogènes. L'activité antagoniste a été évaluée par des tests microbiologiques in vitro contre les germes pathogènes responsables des infections urinaires. Parmi les souches étudiées, *Lactococcus lactis* a présenté la meilleure activité antagoniste contre certains germes pathogènes. Les résultats obtenus mettent en évidence une activité inhibitrice variable selon les souches testées, suggérant que les bactéries lactiques représentent une alternative naturelle prometteuse pour la prévention et le contrôle des infections urinaires.

Mots-clés : Bactéries lactiques, *Lactobacillus spp.*, *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, infections urinaires, activité antagoniste, bactériocines

Abstract:

Lactic acid bacteria are well known for their probiotic properties and their ability to produce antimicrobial compounds such as lactic acid, bacteriocins, and hydrogen peroxide. Urinary tract infections (UTIs), mainly caused by *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, and *Staphylococcus saprophyticus*, represent a major public health concern due to their high prevalence and increasing antibiotic resistance. This study aimed to evaluate the antagonistic activity of *Lactobacillus spp.*, *Lactococcus lactis*, and *Streptococcus thermophilus* against these uropathogenic bacteria. The antagonistic activity was assessed using in vitro microbiological tests. Among the strains studied, *Lactococcus lactis* exhibited the highest antagonistic activity against some pathogenic bacteria. The results demonstrated variable inhibitory effects depending on the bacterial strains tested, suggesting that lactic acid bacteria could serve as a promising natural alternative for the prevention and control of urinary tract infections.

Keywords: Lactic acid bacteria, *Lactobacillus spp.*, *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, urinary tract infections, antagonistic activity, bacteriocins.

ملخص

تُعرف البكتيريا اللبنية بخصائصها البروبيوتكية وقدرتها على إنتاج مركبات مضادة للميكروبات، مثل حمض اللاكتيك، والبكتروسينات، وبيروكسيد الهيدروجين. وتُعد التهابات المسالك البولية، التي تسببها بشكل رئيسي بكتيريا الإشريكية القولونية (*Escherichia coli*)، والكلبيسيلا الرئوية (*Klebsiella pneumoniae*)، والمتقلبة الرائعة (*Proteus mirabilis*)، والمكورات العنقودية الرمية (*Staphylococcus saprophyticus*)، من أهم المشكلات الصحية بسبب انتشارها المتزايد ومقاومتها للمضادات الحيوية. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم النشاط التضادي لسلالات *Lactobacillus spp.* و *Lactococcus lactis* و *Streptococcus thermophilus* ضد هذه الجراثيم الممرضة. وقد تم تقييم هذا النشاط باستخدام اختبارات ميكروبيولوجية في المختبر (*in vitro*). ومن بين السلالات المدروسة، أظهرت *Lactococcus lactis* أفضل نشاط تضادي ضد بعض الجراثيم الممرضة. كما أظهرت النتائج وجود نشاط تثبيطي متفاوت حسب السلالات المختبرة، مما يشير إلى أن البكتيريا اللبنية تمثل بديلاً طبيعياً واعداً للوقاية من التهابات المسالك البولية والمساهمة في الحد منها.

الكلمات المفتاحية:

البكتيريا اللبنية، *Lactobacillus spp.*، *Lactococcus lactis*، *Streptococcus thermophilus*، التهابات المسالك البولية، النشاط التضادي، البكتريوسينات.

TABLES DES MATIERES :

Listes des abréviations

Listes des tableaux

Listes des figures

Résumé

Abstract

ملخص

INTRODUCTION GÉNÉRALE1

PARTIE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LES BACTERIES LACTIQUES

1. Généralités sur les bactéries lactiques	5
1.1. Historique.....	5
1.2. Définition	5
1.3. Habitat	6
2. Classification des bactéries lactiques	7
3. Différents genres des bactéries lactiques	9
3.1. Genre <i>Lactobacillus</i>	9
3.2. Genre <i>Lactococcus</i>	11
3.3. Genre <i>Streptococcus</i>	12
3.4. Genre <i>Leuconostoc</i>	13
3.5. Genre <i>Weissella</i>	14
3.6. Genre <i>Pediococcus</i>	16
4. Utilisation des bactéries lactiques.....	17
4.1. Dans la panification : Le cas du pain au levain.....	17
4.2. Dans l'industrie laitière : Le cas du yaourt.....	17
4.3. Dans l'innovation alimentaire et la santé.....	18
4.4. Dans la biopréservation	18
4.5. Dans l'agriculture écologique et la stimulation végétale.....	18
4.6. Dans la bioremédiation des métaux lourds.....	19

CHAPITRE II : LES INFECTIONS URINAIRES (IU)

1. Définition	21
2. Épidémiologie et Caractéristiques des Infections Urinaires (IU).....	22
3. Formes cliniques des infections urinaires (IU).....	22
4. Classification des infections urinaires.....	24
4.1 .Les inféctins urinaires basses.....	24
4.2.Les infection urinaires hautes	24
5. Les principaux uropathogènes impliqués dans les infections urinaires	25
5.1. <i>Escherichia coli</i>	25
5.1.1. Définition	25
5.1.2. Classification.....	25
5.1.3. Habitat.....	26
5.1.4. Caractéristiques structurales et plasticité génomique	26
5.1.5. Pouvoir pathogène et mécanismes de toxicité.....	27
5.2. <i>Klebsiella pneumoniae</i>	27
5.2.1Définition.....	27
5.2.2Classification.....	27
5.2.3Habitat.....	28
5.2.4. Caractéristiques Structurales et Facteurs de Virulence.....	29
5.2.5. Pouvoir Pathogène et Mécanismes d'Action.....	29
5.3. <i>Staphylococcus saprophyticus</i>	30
5.3.1. Définition	30
5.3.2. Classification	30
5.3.3. Habitat.....	31
5.3.4. Le pouvoir pathogène de <i>Staphylococcus saprophyticus</i>	31
5.4. <i>Proteus mirabilis</i>	32
5.4.1. Définition et Écologie.....	32
5.4.2. Classification	32
5.4.3. Caractéristiques morphologiques et biochimiques.....	33
5.4.4. Pouvoir Pathogène.....	33
6.Pathogénie, Épidémiologie et Prise en Charge des Infections Urinaires (IU)	34
6.1. Physiopathologie et Progression de l'Infection.....	34
6.2. Particularités des IU Associées aux Soins (Infections Compliquées).....	34
6.3. Épidémiologie et Facteurs de Risque.....	35

6.4. Approches Cliniques et Enjeux Thérapeutiques.....	35
7.L'Examen Cytobactériologique des Urines (ECBU).....	36
7.1. Définition	36
7.2. Modalités de Prélèvement	36
7.3. Phase Pré-analytique : Transport et Conservation.....	36
7.4. Procédures Analytiques de Laboratoire	37
7.5. Interprétation Clinique des Résultats.....	37
7.6. Facteurs d'Interférence et Limites de l'Examen.....	37
8.Microboite urinaires et applications cliniques.....	38
8.1.Microboite urinaires.....	38
8.2.Applications cliniques.....	38

CHAPITRE III : ACTIVITÉS ANTIMICROBIENNES DES BACTÉRIES

LACTIQUES

1.Introduction.....	40
2.Métabolisme des bactéries lactiques.....	40
2.1 Voie homofermentaire stricte (voie d'Embden-Meyerhof-Parnas).....	40
2.2. Voie hétérofermentaire (voie des pentoses phosphates / phosphokétolase).....	40
3.Acides organiques.....	41
3.1.Acide lactique.....	41
3.2.Acide acétique	41
3.3.Acide phényllactique	42
4.Acides gras	42
5. D'autres métabolites.....	43
5 .1. Peroxyde d'hydrogène	43
6.Bactériocines	43
6.1. Définition	43
6.2. Classification des bactériocines (Classe I, II, III et IV)	43
6.3. Mode d'action des bactériocines	45
6.4. Applications des bactériocines	47
6.4.1. Domaine agroalimentaire.....	47
6.4.2Domaine médicale et pharmaceutique.....	48
6.4.3Le domaine agricole.....	48
6.4.4. Domaine vétérinaire.....	49

7. Mécanismes d'inhibition des uropathogènes par les bactéries lactiques.....	50
---	----

PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I : MATÉRIELS ET MÉTHODES :

1. Objectifs de l'étude	53
2. Lieu et période d'étude	53
3. Matériels	53
3.1. Matériels biologiques	53
3.1.1. Les souches de bactéries lactiques.....	53
3.1.2 Les souches pathogènes	53
3.2. Matériels non biologiques (Appareillage, milieux de cultures et réactifs)	54
4.Méthodes	54
4.1. Revivification et purification des souches bactériennes.....	54
4.2. Caractérisation et identification des souches lactiques.....	54
4.2.1.Examen macroscopique.....	54
4.2.2.Examen microscopique.....	54
4.2.3.Coloration de Gram.....	54
4.2.4. Test Catalase	55
4.2.5. Test Oxydase.....	55
4.3. Préparation des suspensions bactériennes et des dilutions.....	55
4.4. Évaluation de l'activité antagoniste des bactéries lactiques.....	56
4.4.1. Méthode de diffusion sur disques.....	56
4.4.2. La technique des puits (Agar well diffusion)	56
4.5. Méthode de l'antibiogramme la sensibilité aux antibiotiques	57

CHAPITRE II. Résultats et discussion :

1.Vérification de la pureté des souches	59
1.1. Observation macroscopique.....	59
1.2. Observation microscopique	62
1.3. Test de catalase	66
2. Activité antimicrobienne des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes.....	67
2.1. Méthode des puits	67
2.2. Méthode de diffusion sur disques	71
3. Comparaison des performances des deux méthodes.....	74
4.Résultats de l'antibiogramm.....	74

Conclusion

Références bibliographique

Annexe

INTRODUCTION :

L'organisme humain constitue un écosystème complexe hébergeant une diversité microbienne significative, désignée sous le terme de microbiote. Cette communauté microbienne, répartie à travers divers sites anatomiques, joue un rôle déterminant dans l'homéostasie physiologique. La présence de bactéries commensales bénéfiques est primordiale, ces dernières assurant une protection de l'hôte par compétition directe avec les agents pathogènes, illustrant ainsi l'équilibre critique nécessaire au maintien de la santé **(Oelschlaeger, 2010 ; FAO/WHO, 2002)**.

Parmi les pathologies infectieuses prévalentes à l'échelle mondiale, les infections urinaires (IU) occupent une place prépondérante, avec une incidence marquée au sein de la population féminine. Ces infections sont majoritairement induites par des entérobactéries commensales, au premier rang desquelles figure *Escherichia coli*, bien que des genres tels que *Klebsiella*, *Proteus* et *Enterococcus* soient également fréquemment incriminés. Une prise en charge thérapeutique inadaptée de ces infections peut engendrer des complications cliniques sévères **(Foxman, 2010 ; Flores-Mireles et al., 2015)**.

La stratégie thérapeutique conventionnelle repose essentiellement sur l'antibiothérapie. Néanmoins, l'émergence et la dissémination préoccupantes de la résistance bactérienne aux antibiotiques représentent aujourd'hui un défi majeur de santé publique, réduisant l'efficacité des traitements standards et imposant l'exploration d'alternatives thérapeutiques durables et sécurisées **(World Health Organization, 2020)**. Dans ce cadre, les bactéries lactiques, et plus spécifiquement le genre *Lactobacillus*, font l'objet d'un intérêt scientifique croissant en tant qu'agents probiotiques. Leur capacité à stimuler les mécanismes de défense naturels et à entraver la colonisation par des microorganismes pathogènes est largement documentée **(Holzapfel et Schillinger, 2002 ; FAO/WHO, 2002)**.

Les bactéries lactiques déploient un effet antagoniste contre les uropathogènes via divers mécanismes biochimiques, notamment la sécrétion d'acides organiques, de bactériocines et de peroxyde d'hydrogène. Ces métabolites inhibent la prolifération des germes pathogènes, renforçant ainsi la barrière de protection de l'hôte **(Naderi et al., 2014 ; Pedrazzoli et al., 2026)**. Plusieurs travaux de recherche ont démontré l'efficacité de ces souches dans l'inhibition d'uropathogènes, préfigurant leur potentiel en tant qu'alternative ou thérapeutique adjuvante à l'antibiothérapie classique **(Manzoor et al., 2016 ; Tsai et al., 2018)**.

Ce mémoire a pour objectif d'étudier l'effet antagoniste des bactéries lactiques vis-à-vis des bactéries uropathogènes, en mettant l'accent sur le rôle de l'acide lactique et des

bactériocines dans l'inhibition des germes responsables des infections urinaires. Cette étude vise à valoriser les propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques et leur potentiel comme alternative naturelle dans la lutte contre les uropathogènes.

Ce mémoire est organisé en quatre parties principales :

- Une étude bibliographique comprenant un premier chapitre consacré aux bactéries lactiques, leurs caractéristiques générales, leurs propriétés biologiques et leurs applications.
- Un deuxième chapitre portant sur les infections urinaires, les principaux agents uropathogènes impliqués ainsi que leurs mécanismes de pathogénicité.
- Un troisième chapitre traitant de l'effet antagoniste exercé par les bactéries lactiques, notamment à travers la production d'acide lactique et de bactériocines, et leur action inhibitrice contre les bactéries pathogènes.
- Enfin, une partie expérimentale suivie d'une analyse des résultats obtenus, mettant en évidence l'activité antagoniste des bactéries lactiques contre les uropathogènes à travers les différentes méthodes microbiologiques réalisées au laboratoire.

REVUE BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I :
LES BACTÉRIES LACTIQUES

1.Généralité sur les bactéries lactiques :

1.1.Historique :

Les bactéries lactiques représentent l'un des plus anciens groupes microbiens exploités par l'être humain dans la fermentation des aliments. Leur utilisation remonte à environ 8 000 à 10 000 ans dans la préparation des produits laitiers fermentés, du pain et de certains aliments végétaux conservés. Toutefois, leur nature microbiologique n'a été comprise qu'au XIX^e siècle avec le développement de la microbiologie moderne. En 1857, Louis Pasteur démontra que la fermentation lactique était due à l'activité de microorganismes vivants et non à une simple transformation chimique spontanée. Cette découverte a constitué une étape fondamentale dans l'histoire des fermentations et a permis l'émergence des premières études scientifiques sur les bactéries lactiques (**Medina et PérezRodríguez, 2025**).

À la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, plusieurs chercheurs ont poursuivi les travaux initiés par Pasteur en isolant et en classifiant différentes espèces de bactéries lactiques appartenant notamment aux genres *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* et *Leuconostoc*. Ces recherches ont permis de mieux comprendre leur rôle dans la production de l'acide lactique, la conservation des aliments et l'amélioration des qualités organoleptiques des produits fermentés. Par la suite, l'industrialisation des procédés fermentaires a favorisé l'utilisation contrôlée des bactéries lactiques dans l'industrie agroalimentaire (**Holzappel et Wood, 2014**).

Au cours des dernières décennies, les progrès réalisés en biologie moléculaire, en génomique et dans les technologies "omics" ont profondément modernisé l'étude des bactéries lactiques. Ces approches ont permis une reclassification taxonomique plus précise ainsi qu'une meilleure compréhension de leurs mécanismes métaboliques, de leurs propriétés probiotiques et de leur potentiel biotechnologique. Aujourd'hui, les bactéries lactiques sont largement utilisées dans les domaines alimentaire, médical, pharmaceutique et même agricole grâce à leur capacité à produire des composés antimicrobiens, notamment les bactériocines, ainsi qu'à leurs effets bénéfiques sur la santé humaine (**Ihkan, 2025**).

1.2.Définition :

Les bactéries lactiques constituent un groupe diversifié de micro-organismes dont le métabolisme fermentaire repose sur la dégradation des glucides, avec pour produit terminal majeur l'acide lactique, comme l'ont souligné **Zheng et al. (2020)**. Présentes en abondance dans de nombreux écosystèmes, ces bactéries occupent des niches écologiques variées et font partie intégrante de la flore commensale buccale, intestinale et vaginale chez l'homme et l'animal, selon les observations de **Lavermicocca et al. (2021)** ainsi que de **Rokop et al.**

(2015). Au-delà de leur rôle biologique, ces micro-organismes présentent un intérêt socioéconomique significatif, tel que documenté par les travaux de **Zarour et al. (2017)** et de **Zhang et Cai (2014)**.

Sur le plan morphologique et physiologique, les bactéries lactiques peuvent se présenter sous forme de coques, de bacilles ou de coccobacilles. Conformément aux travaux de **Hammes et al. (2009)**, elles se distinguent par leur coloration de Gram positive et leur caractère généralement non mobile et asporulé.

Sur le plan métabolique, elles sont définies comme des organismes anaérobies aérotolérants, dépourvus de cytochromes-oxydase et de nitrate-réductase. Bien qu'elles soient généralement caractérisées par l'absence de catalase, il convient de noter que certaines souches peuvent exprimer une activité de type « pseudo-catalase ». Enfin, leur croissance optimale nécessite impérativement la présence de sources de carbone organique, plus précisément des glucides fermentescibles.

1.3.Habitat :

Les bactéries lactiques sont largement distribuées dans différents habitats naturels et anthropiques. Elles sont fréquemment isolées des produits laitiers fermentés, des légumes, des fruits, des céréales, des viandes fermentées et de nombreux autres aliments fermentés traditionnels. En plus des environnements alimentaires, les bactéries lactiques sont également présentes dans le tractus gastro-intestinal des humains et des animaux, où elles participent au maintien de l'équilibre microbien intestinal. Plusieurs espèces colonisent aussi les muqueuses buccales et urogénitales. Dans les systèmes agricoles, ces bactéries sont retrouvées dans la rhizosphère, l'endosphère et la phyllosphère des plantes, où elles contribuent à la protection contre certains microorganismes pathogènes et à l'amélioration de la croissance végétale.

Leur présence dans des habitats très variés est liée à leur importante diversité métabolique, leur capacité d'adaptation aux conditions acides ou pauvres en oxygène, ainsi qu'à leur aptitude à produire des métabolites antimicrobiens tels que les acides organiques, le peroxyde d'hydrogène et les bactériocines. Ces caractéristiques expliquent l'intérêt croissant des bactéries lactiques dans les domaines alimentaire, médical, agricole et biotechnologique (**Murata et al., 2025**).

2. Classification des bactéries lactiques :

Les bactéries lactiques constituent un groupe hétérogène de microorganismes à Gram positif, non sporulés, présentant des morphologies bacillaires ou coccoïdes, classées au sein de l'embranchement des *Firmicutes*, de la classe des *Bacilli* et de l'ordre des *Lactobacillales*. Historiquement, la première classification proposée par Orla-Jensen en 1919 reposait sur des critères phénotypiques tels que la morphologie cellulaire, le mode de fermentation du glucose, le profil d'assimilation des sucres et les conditions de croissance, permettant ainsi de distinguer quatre genres principaux : *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* et *Streptococcus*. Cette classification a progressivement intégré des critères métaboliques, scindant le groupe entre les bactéries homofermentaires, convertissant le glucose principalement en lactate (*Lactococcus*, *Streptococcus*), et les bactéries hétérofermentaires, générant conjointement du lactate, de l'éthanol et du dioxyde de carbone (*Leuconostoc*, *Weissella*).

Actuellement, la systématique moderne privilégie les approches moléculaires pour une identification précise des espèces, s'appuyant notamment sur le séquençage du gène de l'ARNr 16S, les techniques de PCR (y compris la PCR multiplex ciblant le gène *recA*), ainsi que l'analyse des profils génétiques et protéiques. Cette rigueur analytique a conduit à une révision taxonomique majeure, particulièrement au sein du genre *Lactobacillus* qui, en raison de sa vaste diversité génotypique et phénotypique, a été récemment reclassé en 25 genres distincts, incluant le genre *Lactobacillus* (émendé), *Paralactobacillus* et 23 nouveaux genres, s'ajoutant aux genres traditionnels tels que *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus* ou encore *Weissella* (Ayed et al., 2024).

Sur le plan physiologique, ces bactéries partagent des caractéristiques fondamentales, telles qu'un métabolisme anaérobie facultatif, une réaction catalase négative et une faible teneur en bases nucléiques G+C (31 à 49 %), autant d'attributs qui fondent leur classification phylogénétique. Écologiquement polyvalentes, elles colonisent des niches variées, des cavités naturelles des êtres vivants où elles entretiennent des relations de mutualisme aux écosystèmes complexes des matrices alimentaires. Outre leur rôle biologique, les BL possèdent des qualités technologiques et fonctionnelles de premier ordre, largement exploitées pour la fabrication de produits fermentés et la production de probiotiques, en raison de leurs effets bénéfiques avérés sur la santé de l'hôte (Ayivi et al., 2020).

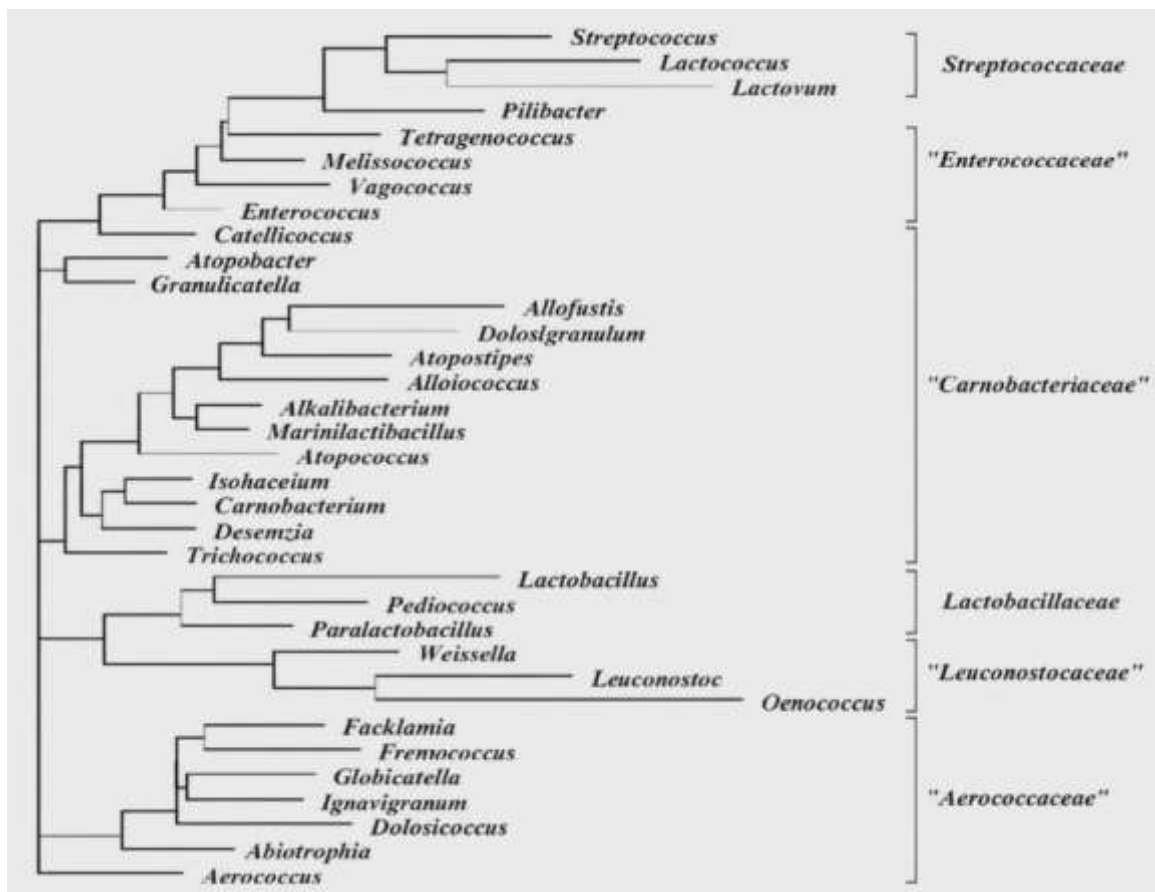


Figure 1: Classification des bactéries lactiques.

Tableau 1 : Les différentes genre des bactéries lactiques et leurs caractéristiques physiologiques et technologique **Ayed et al. (2024)**.

Genre	Morphologie	Type de fermentation	Caractéristiques principales
<i>Lactobacillus</i>	Bacilles	Homo- ou hétérofermentaire	Production élevée d'acide lactique, utilisé dans les produits laitiers et probiotiques
<i>Lactococcus</i>	Coques en chaînes	Homofermentaire	Utilisé comme levain dans les fromages et yaourts
<i>Leuconostoc</i>	Coques	Hétérofermentaire	Production de CO ₂ , arômes et dextranes
<i>Streptococcus</i>	Coques en chaînes	Homofermentaire	Importants dans la fabrication du yaourt
<i>Pediococcus</i>	Coques en tétrades	Homofermentaire	Résistance aux conditions acides et salines
<i>Enterococcus</i>	Coques	Homofermentaire	Présents dans certains aliments fermentés, production de <u>bactériocines</u>

3. Différentes genres des bactéries lactiques :

3.1. Genre *Lactobacillus* :

Le genre *Lactobacillus* est historiquement défini comme le pilier central du groupe des bactéries lactiques (LAB – Lactic Acid Bacteria). Sur le plan morphologique et structural, il regroupe des bacilles (bactéries en forme de bâtonnet) à Gram positif, catalase négative, non sporulés et présentant un métabolisme anaérobie facultatif. Sa principale caractéristique physiologique réside dans sa haute capacité à métaboliser divers glucides par voie

fermentaire, générant de l'acide lactique comme métabolite prédominant (**Dempsey et Corr, 2022**).

D'un point de vue écologique, les lactobacilles sont des composants majeurs du microbiote humain, avec lequel ils entretiennent une relation de mutualisme hautement évoluée. Ces micro-organismes colonisent préférentiellement des niches anatomiques spécifiques présentant des conditions physico-chimiques adaptées à leur développement. On les retrouve ainsi en abondance tout au long du tube digestif, depuis la cavité buccale jusqu'aux segments distaux de l'intestin, mais également au niveau de l'appareil génital féminin, où ils constituent la flore de Dedörlein.

Dans ces différents biotopes, cette association symbiotique s'avère bénéfique pour les deux partenaires : en échange d'un hébergement stable et d'un apport continu en nutriments et substrats carbonés fournis par l'hôte, les espèces de *Lactobacillus* assurent une fonction barrière et protectrice cruciale. Elles participent activement à la digestion et à la biodisponibilité de certains nutriments, tout en inhibant la colonisation, la prolifération et la translocation des agents pathogènes opportunistes, garantissant ainsi l'homéostasie microbiologique de ces muqueuses (**Dempsey et Corr, 2022**).



Figure 2 : Aspect microscopique de *lactobacillus casei* Group après coloration de GRAM

source :Minervini, 2011.

3.2. Genre *Lactococcus* :

Le genre *Lactococcus* rassemble des bactéries lactiques (LAB à morphologie de cocci et à coloration de Gram positif et catalase négative, sur le plan métabolique, adoptent un profil homofermentaire strict en convertissant préférentiellement les glucides en acide lactique. Bénéficiant du statut de sécurité GRAS (Generally Recognized As Safe) en raison de leur innocuité, ces micro-organismes occupent une place stratégique tant dans la bioprotection des matrices alimentaires que dans les applications thérapeutiques en tant que probiotiques.

La diversité de ce genre s'articule autour d'espèces majeures telles que *L. Raffinolactis*, *L. Plantarum*, *L. Garvieae* et *L. Piscium*, bien que l'espèce phare demeure *Lactococcus lactis* ; celle-ci se subdivise en deux taxons principaux, à savoir *L. Lactis subsp. Cremoris* et *L. Lactis subsp. Lactis*, cette dernière incluant le biovar diacetylactis qui se distingue par sa capacité à dégrader le citrate pour produire des composés aromatiques comme le diacétyl et l'acétoïne. Composants intrinsèques et ubiquitaires du microbiote laitier, les lactocoques sont préférentiellement isolés du lait cru et des fromages traditionnels, une occurrence naturelle qui justifie leur utilisation systématique comme cultures starters (levains) dans l'industrie. Au-delà de leur rôle technologique, l'intérêt majeur de ces bactéries réside dans leur pouvoir inhibiteur et de biocontrôle : par la sécrétion de métabolites antimicrobiens, elles limitent la prolifération des agents pathogènes, réduisant ainsi les risques d'intoxications, stabilisant les produits et prolongeant leur durée de vie commerciale (Hamdaoui et al., 2024).

De surcroît, *L. Lactis* déploie un potentiel antioxydant remarquable contre le stress oxydatif via une synergie de leviers biochimiques, notamment par voie enzymatique (expression de la superoxyde dismutase), par voie métabolique (synthèse d'acides organiques, de peptides, de composés phénoliques et de caroténoïdes), par la production d'exopolysaccharides (EPS) protecteurs, et enfin par bio-enrichissement, augmentant la biodisponibilité des antioxydants au sein de la matrice fermentée (Hamdaoui et al., 2024).

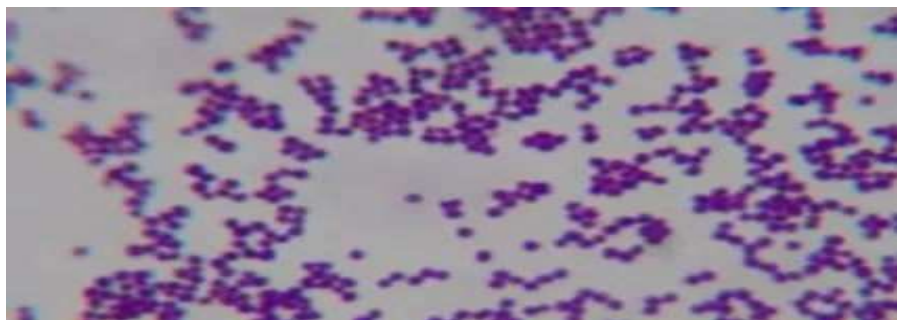


Figure 3 : Aspect microscopique de *Lactococcus lactis subsp. lactis*
Source : Science Source (2026).

3.3. Genre *Streptococcus* :

Appartenant au phylum des *Firmicutes*, à la classe des *Bacilli* et à la famille des *Streptococcaceae*, *streptococcus thermophilus* est une bactérie lactique à Gram positif, non mobile, catalase négative caractérisée par un métabolisme homofermentaire et morphologiquement organisée en paires ou en chaînes de cocci d'un diamètre de 0,7 à 0,9 µm. Classée au sein du groupe salivarius des streptocoques viridans, cette espèce bénéficie du statut GRAS en raison de son innocuité (**Ghailan et Niamah, 2025**). Sur le plan écologique, elle présente une spécialisation étroite liée aux environnements laitiers (**Pearce et Flint, 2005**) ; elle est ainsi régulièrement isolée du lait cru de diverses espèces (bovin, ovin, caprin), qui constitue son biotope principal et un vecteur potentiel de bactériophages spécifiques, tout en colonisant les équipements industriels, tels que les pasteurisateurs, sous forme de biofilms pour résister aux traitements thermiques. Son isolement à partir d'échantillons complexes repose sur une sélection thermique à des températures supérieures à 40 °C, l'incubation à haute température demeurant le principal levier d'enrichissement face à la flore mésophile.

Sur le plan physiologique, ce micro-organisme anaérobie facultatif et catalase négative présente un optimum de croissance entre 40 et 42 °C, et métabolise le lactose via la voie d'Embden-Meyerhof-Parnas pour produire majoritairement de l'acide L(+)-lactique, tout en établissant une synergie microbienne avec *lactobacillus bulgaricus* par la production d'acide formique, ce qui accélère l'acidification lors de la fermentation du yaourt. De plus, certaines souches possèdent des propriétés fonctionnelles remarquables, notamment la synthèse d'exopolysaccharides (EPS) améliorant la rhéologie, la texture et les propriétés antioxydantes ou immunomodulatrices des produits, ainsi que la production de composés volatils comme l'acétaldéhyde, issu du catabolisme des acides aminés et responsable du profil aromatique des laits fermentés. *S. Thermophilus* synthétise également des bactériocines (les thermophilines 13 et 110) dotées d'une forte activité inhibitrice contre des agents pathogènes majeurs tels que *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* et les souches multirésistantes de *Staphylococcus aureus*.

Enfin, ses applications thérapeutiques en tant que probiotique se traduisent par une amélioration notable de la digestion du lactose, la prévention des diarrhées associées aux antibiotiques, ainsi que la modulation du microbiote intestinal couplée à l'inhibition d'*Helicobacter pylori* (**Ghailan et Niamah, 2025**).

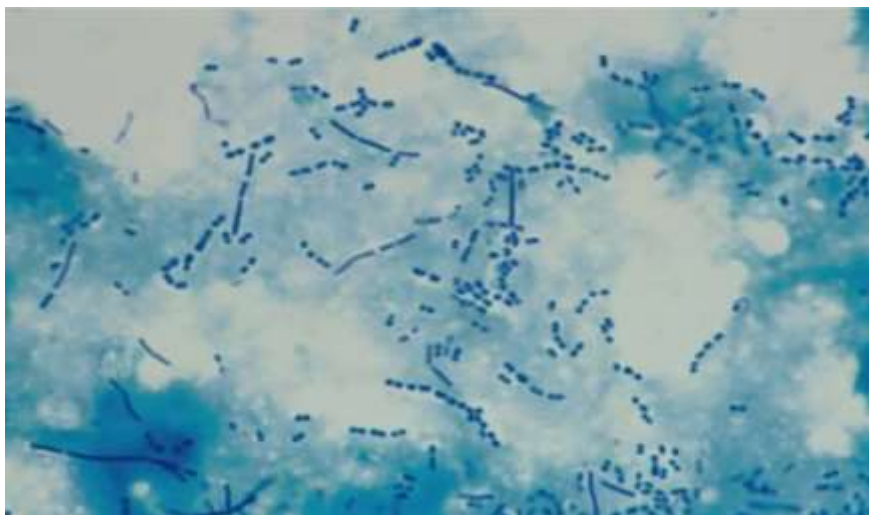


Figure 4 : Figure : Morphologie microscopique de *Streptococcus* spp.

Source : Reddy et al. (2024)

3.4. Genre *Leuconostoc* :

Le genre *Leuconostoc* regroupe des bactéries à Gram positif, catalase négatives et anaérobies facultatives appartenant au consortium des bactéries lactiques hétérofermentaires. Sur le plan taxonomique, suite aux révisions phylogénétiques majeures de 2020, ce genre a été rattaché à la famille élargie des *Lactobacillaceae* (subsumant l'ancienne famille des *Leuconostocaceae*) et compte actuellement 17 espèces officiellement répertoriées.

Écologiquement polyvalents bien qu'originaires du compartiment végétal, ces microorganismes colonisent des niches écologiques anthropisées et des matrices nutritionnelles complexes, incluant les produits laitiers, carnés et fermentés, les surfaces industrielles de transformation, ainsi que de nouvelles formulations cosmétiques biofermentées.

Sur le plan de la physiologie cellulaire, les *Leuconostoc* sont des organismes exigeants (fastidieux), requérant des apports exogènes en acides aminés, peptides, dérivés d'acides nucléiques, vitamines, acides gras et glucides fermentescibles. Ils manifestent néanmoins une résilience remarquable face aux stress environnementaux, caractérisée par une psychrotolérance (croissance active à 10 °C), une halotolérance (jusqu'à 50 g/L de NaCl) et une capacité à proliférer dès que le pH est supérieur à 4,5.

Leur métabolisme, fondé sur la fermentation hétérolactique des sucres, génère du CO₂, des composés aromatiques clés et des exopolysaccharides (EPS). Ces propriétés confèrent au genre un double impact industriel : ils sont exploités en agroalimentaire comme ferments technologiques (exhausteurs organoleptiques) ou agents de bioprotection, bien qu'ils puissent occasionnellement agir comme agents d'altération. En dépit de rares cas d'infections opportunistes chez des patients immunodéprimés, la majorité des espèces

bénéficie du statut GRAS . Elles font l'objet de recherches approfondies pour leurs propriétés probiotiques, notamment via la synthèse de peptides antimicrobiens, la production de vitamines et l'immunomodulation, ainsi qu'en cosmétologie pour leurs extraits bioactifs. Enfin, l'avènement de la phylogénomique comparative, appuyé par la disponibilité de 553 assemblages génomiques, supplante désormais les approches systématiques conventionnelles (ARNr 16S, hybridation ADN-ADN, contenu G+C), offrant une résolution fine de la diversité génomique et du potentiel fonctionnel de ce genre (**Candeliere et al., 2024**).

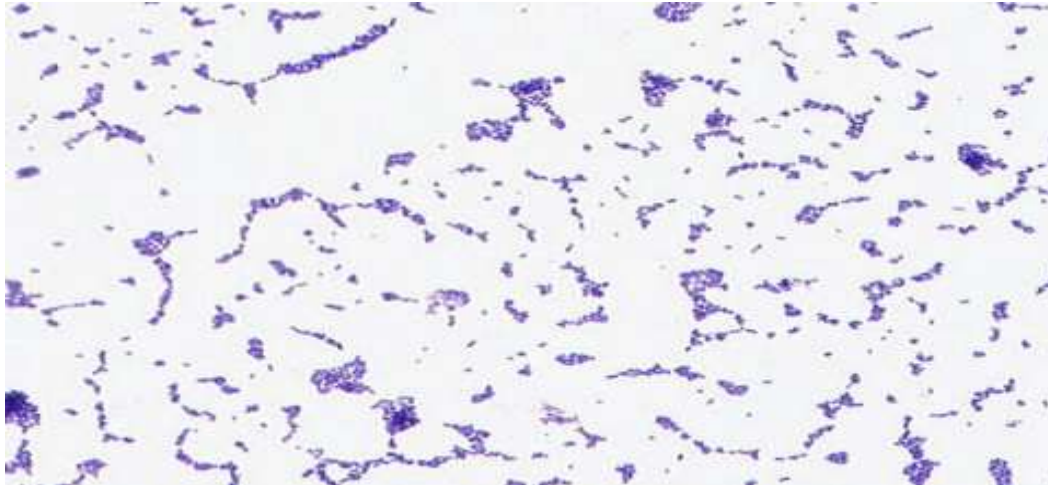


Figure 5 : Aspect microscopique de *Leuconostoc* après coloration de Gram
Source :GMBank

3.5. Genre *Weissella* :

Le genre *Weissella* constitue un taxon de bactéries lactiques à Gram positif et catalase négatives, individualisé en 1993 à la suite de révisions phylogénétiques et génomiques fondées sur le séquençage de l'ARNr 16S, qui ont permis d'extraire ses membres des genres *Leuconostoc* et *Lactobacillus*. Représenté par des espèces phares telles que *W. Cibaria*, *W. Confusa* et *W. Hellenica*, ce genre regroupe des micro-organismes non sporulés caractérisés par un pléomorphisme marqué, leurs formes variant de bâtonnets courts à des structures ovoïdes. Anaérobies facultatives, ces bactéries sont dotées d'un métabolisme hétérofermentaire producteur d'acide lactique qui leur confère une remarquable capacité d'adaptation et une grande résilience face aux stress environnementaux. Ubiquitaires, elles colonisent des niches écologiques hautement diversifiées, incluant les biotopes naturels comme les sols, les milieux aquatiques et les surfaces végétales, les matrices alimentaires

fermentées telles que les produits céréaliers ou le kimchi, ainsi que les tractus gastrointestinaux humains et animaux, dont elles sont des composantes intégrantes.

Sur le plan fonctionnel, le genre *Weissella* déploie des mécanismes biochimiques et moléculaires d'un grand intérêt biotechnologique. Il se distingue notamment par des propriétés immunomodulatrices, se montrant capable de stimuler les défenses de l'hôte en augmentant l'activité des cellules tueuses naturelles (NK) et en activant les macrophages pour réguler la réponse inflammatoire. De plus, ces bactéries synthétisent des exopolysaccharides (EPS) thermostables, des polymères utilisés en biotechnologie pour optimiser la texture des produits ou intervenant dans les processus de colonisation bactérienne. Elles sont également reconnues pour leur capacité à produire des bactériocines. Ces peptides antimicrobiens à large spectre permettent d'inhiber la croissance de microorganismes concurrents, ce qui constitue, comme le soulignent **Trias et al. (2020)**, une stratégie bioprotectrice efficace pour prolonger la durée de conservation et garantir des standards élevés de qualité et de sécurité sanitaire pour les produits végétaux frais.

Néanmoins, ce genre présente une dualité clinique complexe qui suscite des enjeux majeurs. Si ses aptitudes technologiques et ses propriétés probiotiques en font un candidat de choix pour les industries agroalimentaire et pharmaceutique, certaines espèces, à l'instar de *W. Confusa*, sont identifiées comme des pathogènes opportunistes. Elles peuvent être impliquées dans des infections graves telles que des bactériémies, des endocardites ou des méningites, particulièrement chez les sujets immunodéprimés. Malgré les connaissances acquises, la distinction précise entre les souches bénéfiques et celles présentant un risque pathogène reste un défi de taille. Une compréhension approfondie des mécanismes moléculaires régissant les interactions entre ces bactéries et l'hôte est donc cruciale pour garantir une utilisation sécurisée et efficace de *Weissella* dans les applications biotechnologiques futures.

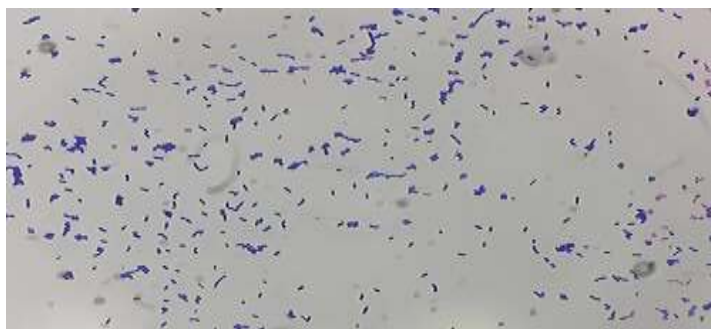


Figure 6 : Coloration de Gram de *Weissella confusa*

Source: Wang et al., 2023 (Infection and Drug Resistance)

3.6. Genre *Pediococcus* :

Appartenant au groupe des bactéries lactiques, le genre *Pediococcus* partage de nombreuses similitudes écologiques et fonctionnelles avec les genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, tous utilisés comme ferments dès 1907. Sur le plan morphologique, *Pediococcus pentosaceus* se présente sous forme de coques (cocci) immobiles et à Gram positif (à ne pas confondre avec des bacilles). Physiologiquement, il s'agit d'un organisme anaérobie facultatif, exclusivement homofermentaire et catalase négative, une caractéristique biochimique majeure des bactéries lactiques. Son génome confirme une forte aptitude à métaboliser divers hydrates de carbone, tandis que l'absence de gènes de résistance aux antibiotiques garantit sa sécurité biologique et son innocuité. Lors de la fermentation, cette bactérie sécrète principalement de l'acide lactique, mais augmente aussi la concentration en acides gras à chaîne courte (AGCC), en alcools et en nitriles. Elle produit également des exopolysaccharides (EPS) thermostables, du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et de l'acide 3-phényllactique au large spectre antibactérien (Jiang et al,2021).

À l'instar des *Lactobacillus*, essentiels à la texture, au goût et aux vertus probiotiques des produits laitiers, du pain ou de la bière, *P. Pentosaceus* possède une importance industrielle majeure. En agroalimentaire, elle sert de ferment ou d'additif pour sublimer les qualités organoleptiques (saveur, texture, acidité) du kimchi, du pain au levain, du Suancai et des viandes, dont elle catalyse l'hydrolyse des protéines. De plus, la production de glucanesucrase par certaines souches optimise les produits laitiers et améliore la biodisponibilité des nutriments comme le phytate. En matière de biopréservation, elle inhibe les pathogènes (*Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *E. Coli*) grâce à l'action de pédiocines, des peptides antimicrobiens (BLIS) thermostables qui détruisent les membranes adverses.

Enfin, son efficacité s'étend à l'agriculture, où des souches résistantes au froid optimisent l'ensilage à basse température, ainsi qu'à l'élevage et l'aquaculture. Certifiée sûre par l'EFSA pour toutes les espèces, elle y est utilisée pour stimuler la croissance, renforcer l'immunité et préserver la santé intestinale des porcelets, poissons et crustacés (Jiang et al,2021).

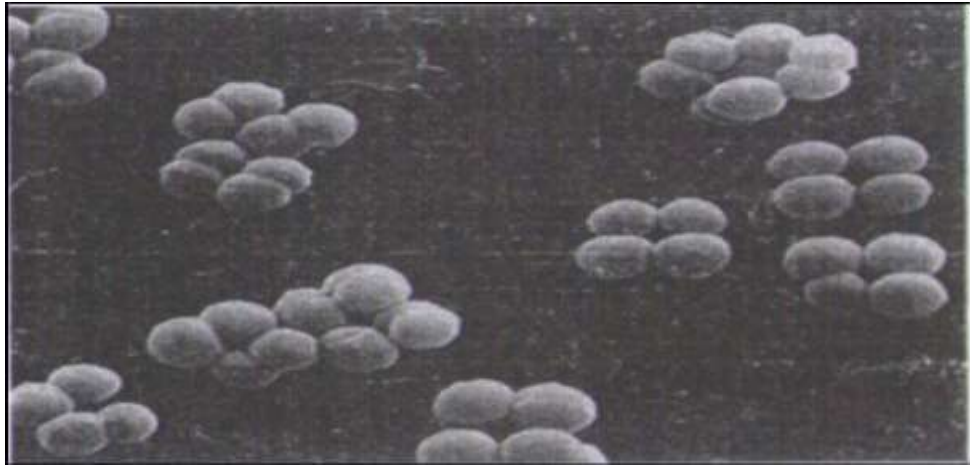


Figure 7 : Micrographie électronique de *Pediococcus* spp. montrant une disposition en tétrades.
Source : Belarbi (2011).

4. Les utilisations des bactéries lactiques :

4.1. Dans la panification : Le cas du pain au levain :

Les bactéries lactiques jouent un rôle fondamental dans la fermentation du pain au levain en agissant comme des agents biochimiques qui transforment la matrice céréalière pour en améliorer la qualité nutritionnelle et sensorielle. Par le biais de leur activité acidifiante et enzymatique, notamment la production de phytases, ces bactéries réduisent la teneur en acide phytique, ce qui accroît la biodisponibilité des minéraux essentiels tout en modifiant la structure des protéines du gluten pour faciliter leur digestibilité. En outre, leur métabolisme contribue à la formation d'arômes caractéristiques et à une meilleure conservation du produit grâce à la production de composés inhibiteurs de la flore indésirable, renforçant ainsi la valeur fonctionnelle du pain au levain comme l'indique l'étude de **Mimoune Reffai et Fechtali (2025)**.

4.2 Dans l'industrie laitière : Le cas du yaourt

L'utilisation des bactéries lactiques, principalement *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, constitue le cœur technologique de la production de yaourt. Ces micro-organismes assurent la fermentation du lactose en acide lactique, ce qui provoque l'acidification du milieu et la coagulation des protéines du lait, formant ainsi la structure caractéristique du gel. Au-delà de cette transformation physique, ces bactéries contribuent activement à la formation du profil aromatique et à l'amélioration

de la texture du produit, tout en garantissant sa valeur probiotique par le maintien d'une charge microbienne élevée dans le produit final. Bien que les procédés industriels puissent intégrer des additifs pour stabiliser ces propriétés, le rôle métabolique des ferments lactiques demeure le principal garant de la qualité et de la typicité du yaourt (**Santos et al., 2025**).

4.3. Dans l'innovation alimentaire et la santé :

Les bactéries lactiques sont largement exploitées pour leurs propriétés biotechnologiques polyvalentes dans la transformation et la conservation des aliments. Audelà de leur rôle traditionnel dans la fermentation, elles agissent comme des agents de biopréservation en produisant des métabolites antimicrobiens qui inhibent la croissance de pathogènes. Ces micro-organismes jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la valeur nutritionnelle des aliments par la synthèse de composés bioactifs et la dégradation de facteurs antinutritionnels. En outre, leur utilisation est de plus en plus orientée vers le développement d'aliments fonctionnels capables de moduler le microbiote intestinal et de renforcer les mécanismes de défense de l'hôte, offrant ainsi des bénéfices thérapeutiques et préventifs significatifs pour la santé humaine (**Yang et al., 2025**).

4.4. Dans la biopréservation :

La biopréservation constitue l'une des applications les plus cruciales des bactéries lactiques dans l'industrie agroalimentaire moderne. Selon **Akpogheli et al. (2025)**, cette technique repose sur l'exploitation du métabolisme naturel de ces bactéries pour prolonger la durée de conservation des produits et garantir leur innocuité. Plutôt que de recourir à des conservateurs chimiques, les souches de bactéries lactiques sécrètent une variété de composés aux propriétés antagonistes, notamment des acides organiques, du peroxyde d'hydrogène et, surtout, des bactériocines. Ces substances agissent avec une grande efficacité en inhibant sélectivement le développement des microorganismes d'altération et des agents pathogènes, permettant ainsi de préserver la qualité nutritionnelle et les propriétés organoleptiques des aliments tout en répondant à la demande croissante pour des produits naturels et exempts d'additifs synthétiques.

4.5. Dans l'agriculture écologique et la stimulation végétale :

Les bactéries lactiques sont de plus en plus reconnues comme un groupe émergent de rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) dans les systèmes agricoles durables. Selon **Khanghahi et al. (2024)**, ces microorganismes contribuent à l'amélioration de la croissance végétale par la production de métabolites bioactifs et par la modulation du microbiote rhizosphérique. Elles participent également à la solubilisation de certains

nutriments essentiels et à la stimulation des défenses naturelles des plantes. Leur rôle dans les agroécosystèmes durables repose aussi sur leur capacité à limiter le développement des agents phytopathogènes, ce qui en fait une alternative prometteuse aux engrais chimiques et pesticides.

4.6. Dans la bioremédiation des métaux lourds :

Les bactéries lactiques sont de plus en plus étudiées pour leur potentiel en bioremédiation des métaux lourds dans les environnements contaminés. Selon **Ma (2024)**, ces microorganismes peuvent éliminer les ions métalliques toxiques grâce à des mécanismes d'adsorption de surface et d'accumulation intracellulaire. Les groupes fonctionnels présents sur la paroi cellulaire des LAB (tels que les acides carboxyliques et phosphates) jouent un rôle clé dans la fixation des métaux. Cette capacité permet leur utilisation dans le traitement des eaux usées industrielles et la décontamination des sols pollués, tout en offrant une alternative écologique aux procédés chimiques traditionnels.

CHAPITRE II :
LES INFECTIONS URINAIRES

1.Définition :

Les infections du tractus urinaire (ITU) correspondent à la présence de bactéries pathogènes au sein de l'arbre urinaire. Elles sont généralement classées selon leur localisation anatomique, notamment la vessie (cystite), le rein (pyélonéphrite) ou la prostate (prostatite), et se manifestent par une grande diversité de signes cliniques. Les infections du tractus urinaire représentent l'une des localisations les plus fréquentes des infections bactériennes à l'échelle mondiale, avec une incidence annuelle très élevée. Elles touchent particulièrement la population féminine, en raison de facteurs anatomiques et physiologiques, une proportion importante de femmes présentant au moins un épisode au cours de leur vie, souvent nécessitant une antibiothérapie. Sur le plan étiologique, les infections urinaires ont fait l'objet de nombreuses études, révélant qu'un nombre limité d'espèces bactériennes est impliqué. Parmi celles-ci, *Escherichia coli* demeure le principal agent responsable, étant isolé dans la majorité des cas. (Isnard, 2015).

D'autres microorganismes, tels que *Staphylococcus saprophyticus*, *Klebsiella spp.*, *Proteus spp.*, et *Enterococcus faecalis*, peuvent également être en cause, généralement avec une fréquence moindre et souvent dans des contextes communautaires. Depuis l'introduction de l'antibiothérapie, une large gamme de molécules a été utilisée dans la prise en charge des ITU, en raison de leur fréquence et de leur potentiel de complications. Cette situation souligne l'importance d'une prescription raisonnée, reposant sur une antibiothérapie ciblée et conforme aux recommandations des sociétés savantes, afin d'optimiser l'efficacité thérapeutique et de limiter l'émergence de résistances bactériennes (Isnard, 2015).

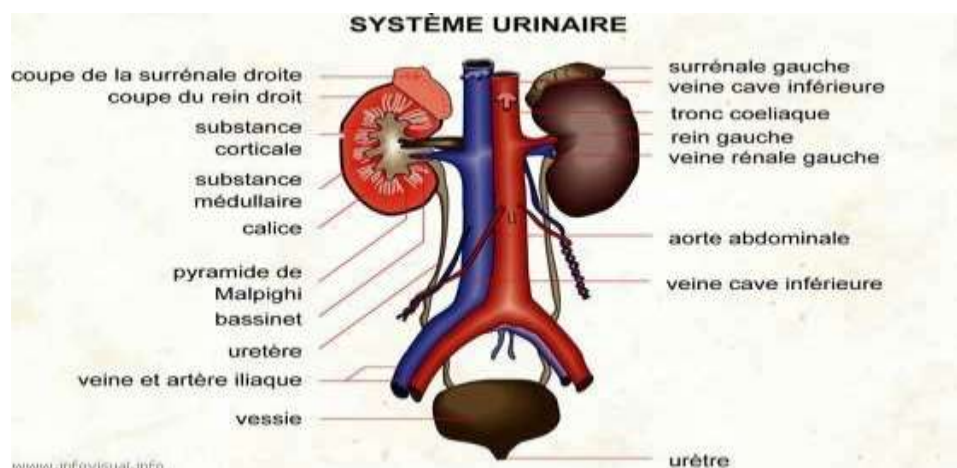


Figure 8 : Anatomie du système urinaire humain et coupe longitudinale du rein.

2.Épidémiologie et Caractéristiques des Infections Urinaires (IU) :

L'analyse épidémiologique de notre cohorte révèle une incidence globale des infections urinaires de 18 % au cours des six premières semaines de suivi. Parmi ces cas, une proportion de 7 % présentait un caractère fébrile. Sur le moyen terme, après un suivi médian de $15 \pm 6,5$ mois, la récurrence infectieuse est restée limitée avec un nombre médian d'épisodes de 0 [0 ; 4]. La cinétique des infections montre un intervalle moyen de 9 mois entre deux épisodes successifs, soulignant une relative stabilité clinique, d'autant plus qu'un seul patient répondait strictement aux critères d'IU récurrente. Sur le plan microbiologique, l'espèce *Escherichia coli* demeure le pathogène prédominant. Rigueur méthodologique et distinctions diagnostiques Afin de garantir la précision des données, une distinction rigoureuse a été opérée entre infection et colonisation bactérienne, conformément aux recommandations de la SPILF. Ainsi, les examens cyto bactériologiques des urines (CBEU) identifiés comme des contrôles, ou réalisés lors d'une interruption du cathétérisme intermittent (CISC), ont été systématiquement exclus des statistiques. Toutefois, il convient de noter l'adoption d'une définition maximaliste pour le diagnostic des IU. Bien que cette approche vise à ne négliger aucun événement clinique, elle pourrait induire une légère surestimation de l'incidence réelle en intégrant certains cas de colonisation bactérienne dans les statistiques globales (Bolzonella et al. (2024)).

3.Formes clinique des infections urinaires (IU) :

Se définit biologiquement par la présence d'une colonisation bactérienne de l'arbre urinaire associée à une symptomatologie clinique évocatrice. Sur le plan académique, on distingue plusieurs entités selon le terrain, la gravité et le mode d'acquisition.

L'infection urinaire simple : elle survient chez la femme jeune, en dehors de toute grossesse et sans facteur de risque sous-jacent. Il est aujourd'hui admis que le diabète, quel que soit son type, n'est plus considéré comme un facteur de risque de complication en l'absence d'autres comorbidités.

L'infection urinaire à risque de complication : cette catégorie regroupe les infections se développant sur un terrain particulier pouvant altérer les mécanismes de défense ou compliquer la réponse thérapeutique.

Les facteurs de risque incluent :

- Les anomalies de l'arbre urinaire : qu'elles soient fonctionnelles ou organiques (lithiases, reflux, tumeurs, etc.).
- Le terrain physiologique : Sujets âgés de plus de 75 ans (ou > 65 ans avec fragilité), femmes enceintes, et patients présentant une insuffisance rénale sévère ($\text{ClCr} < 30 \text{ ml/min}$).
- L'immunodépression grave : Diminuant les capacités de réponse immunitaire face à l'invasion bactérienne.

L'infection urinaire masculine : l'IU masculine constitue désormais une entité spécifique. Elle est systématiquement classée comme "à risque de complication" en raison de la fréquence élevée des anomalies sous-jacentes et de l'implication quasi-systématique de la prostate. Le choix de l'antibiothérapie doit impérativement tenir compte de sa capacité de diffusion prostatique pour prévenir tout passage à la chronicité.

L'infection urinaire grave : la gravité est définie par l'impact systémique de l'infection. Elle concerne : toute IU (principalement les pyélonéphrites aiguës et les IU masculines) associée à un sepsis ou un choc septique. Les cas nécessitant un drainage chirurgical ou interventionnel des voies urinaires en urgence.

Les infections urinaires associées aux soins (IUAS) : on distingue deux contextes majeurs dans cette catégorie :

Le contexte post-opératoire : Infections survenant plus de 48 heures après une intervention chirurgicale touchant l'appareil urinaire.

Le contexte endourinaire : Infections liées à la présence d'un dispositif (sonde, cathéter) ou survenant dans les 7 jours suivant son retrait.

La Cystite Récidivante : La récurrence est caractérisée par la survenue d'au moins quatre épisodes de cystite sur une période de douze mois consécutifs. Cette chronicité impose souvent une recherche approfondie des facteurs favorisants (**Guillard & Lartigue, 2019**).

4. Classification des infections urinaires :

Le terme infection urinaire englobe des entités cliniques distinctes qu'il convient de différencier rigoureusement, tant leur pronostic que leur prise en charge divergent. On distingue classiquement deux catégories selon le siège anatomique de l'infection :

4.1. Les infections urinaires basses :

Ces pathologies concernent le tractus urinaire inférieur, s'étendant de l'urètre jusqu'à la vessie. Elles résultent généralement de l'ascension de microorganismes pathogènes.

- **La cystite** : Inflammation de la muqueuse vésicale, représentant la forme clinique la plus fréquente.
- **L'urétrite** : inflammation de l'urètre, le plus souvent d'origine infectieuse et transmise par voie sexuelle (IST).
- **La prostatite** : Atteinte inflammatoire et infectieuse de la prostate chez l'homme.
- **L'épididymite** : Inflammation de l'épididyme, pouvant s'étendre au testicule (orchiepididymite).

4.2. Les infections urinaires hautes :

Les infections hautes, principalement représentées par la pyélonéphrite, touchent le parenchyme rénal. Elles surviennent souvent par voie ascendante, suite à une infection basse (Cystite ou prostatite) non traitée ou récidivante. L'agent infectieux colonise le bassinet (pyélite) ainsi que les néphrons, unités fonctionnelles du rein. On distingue deux formes évolutives :

La pyélonéphrite aiguë : Consécutive à une infection ascendante ou mal jugulée.

La pyélonéphrite chronique : Souvent associée à des anomalies anatomiques où Structurelles de l'appareil urinaire.

Urgence Thérapeutique : En raison de sa sévérité, la pyélonéphrite constitue une urgence médicale. Elle impose l'instauration systématique d'une antibiothérapie adaptée afin de prévenir toute complication majeure, notamment la diffusion systémique de l'agent pathogène (septicémie ou choc septique) **Essen, 2023.**

5. Les principaux uropathogènes impliqués dans les infections urinaires :

5.1. *Escherichia coli* :

5.1.1. Définition :

Escherichia coli est un bacille à Gram négatif, cliniquement majeur, appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Sur le plan physiologique, elle constitue le commensal le plus prévalent et le plus constant du tube digestif humain, où elle établit des relations symbiotiques essentielles avec l'organisme hôte. Bien que majoritairement inoffensive, l'espèce possède une grande plasticité génétique permettant l'émergence de souches pathogènes. Ces dernières se distinguent par l'acquisition de facteurs de virulence spécifiques, leur conférant la capacité de s'écarter de leur rôle de simple composant du microbiote intestinal pour devenir des agents infectieux redoutables chez l'homme et les animaux (Gebremedhin et al., 2025).



Figure 09 : *Escherichia coli* (coloration de Gram, bacilles à Gram négatif).

Source : Microbiology in Pictures(2022)

5.1.2. Classification :

La position systématique d'*Escherichia coli* dans le monde vivant suit une hiérarchie phylogénétique rigoureuse, définie comme suit :

Règne : *Bacteria*

Phylum : *Pseudomonadota* (anciennement *Proteobacteria*)

Classe : *Gammaproteobacteria*

Ordre : *Enterobacterales*

Famille : *Enterobacteriaceae*

Genre : *Escherichia*

Espèce : *Escherichia coli*

5.1.3Habitat :

L'écosystème primaire et naturel d'*Escherichia coli* est représenté par le tractus gastrointestinal des humains et des animaux homéothermes, où elle s'établit dès les premières heures suivant la naissance. Au sein du côlon, elle s'intègre de manière prépondérante à la microflore aéro-anaérobie facultative, coexistant en parfaite symbiose avec l'organisme hôte et participant activement au maintien de l'homéostasie intestinale. Cependant, en raison d'une excrétion fécale continue, cette bactérie est massivement libérée dans les milieux extérieurs. Elle se retrouve ainsi de façon transitoire dans l'eau, les sols et les matrices alimentaires, faisant d'elle un bio-indicateur universel et réglementaire de la contamination fécale des ressources hydriques et environnementales. Par ailleurs, lors de phénomènes de translocation ou de contamination ascendante, cette bactérie peut coloniser des sites anatomiques normalement stériles ; l'appareil urinaire représente ainsi le site d'infection extra-intestinale le plus fréquent, où les souches UPEC sont responsables de 80 à 90 % des infections urinaires rencontrées en milieu communautaire (**Gebremedhin et al., 2025**).

5.1.4Caractéristiques structurales et plasticité génomique :

La spécificité biologique d'*Escherichia coli* repose sur une architecture cellulaire hautement adaptative, typique des bactéries à Gram négatif. Sa membrane externe est riche en lipopolysaccharides (LPS), une structure macromoléculaire qui confère à la bactérie une résistance intrinsèque vis-à-vis de certains agents chimiques tout en agissant comme une endotoxine puissante. La caractéristique majeure de cette espèce demeure sa plasticité génétique exceptionnelle, caractérisée par une propension élevée aux transferts horizontaux de gènes via des plasmides, des transposons ou des îlots de pathogénicité. De surcroît, elle exprime fréquemment à sa surface des structures d'adhésion filamenteuses, telles que les fimbriae ou les pili, qui constituent des attributs morphologiques essentiels pour l'ancrage cellulaire et la résistance aux forces de cisaillement physiques exercées par les fluides biologiques (**Gebremedhin et al., 2025**).

5.1.5. Pouvoir pathogène et mécanismes de toxicité :

Bien que son statut initial soit celui d'un hôte intestinal inoffensif, *Escherichia coli* peut se muer en un redoutable agent pathogène opportuniste ou obligatoire à travers des processus moléculaires distincts. Le premier mécanisme procède d'une translocation anatomique, où des souches d'origine digestive, notamment les souches UPEC (Uropathogenic *Escherichia coli*), migrent vers des sites normalement stériles comme l'arbre urinaire. Grâce à leurs fimbriae spécifiques, ces bactéries colonisent l'urothélium, échappent à l'effet de chasse de la miction et provoquent des infections aiguës, représentant, selon les données de **Gebremedhin et al.,(2025)**, entre 80 et 90 % des cystites et pyélonéphrites en milieu communautaire. Le second mécanisme relève de l'acquisition d'un arsenal d'exotoxines, à l'instar des toxines de Shiga ou des entérotoxines. Ces protéines sécrétées altèrent gravement l'intégrité des cellules cibles et des endothéliums vasculaires, déclenchant des syndromes cliniques sévères allant de syndromes diarrhéiques complexes à des défaillances systémiques majeures comme le syndrome hémolytique et urémique.

5.2. *Klebsiella pneumoniae* :

5.2.1 Définition :

Sur le plan microbiologique, *Klebsiella pneumoniae* se définit comme un bacille à Gram négatif appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*. Selon les critères morphologiques et physiologiques établis par **Ashurst et Dawson (2023)**, cet agent pathogène se distingue par son immobilité stricte et par la présence constante d'une structure capsulaire proéminente qui enveloppe sa paroi cellulaire. En tant que membre majeur des entérobactéries, elle partage les caractéristiques métaboliques générales du groupe, mais son profil phénotypique, marqué par un aspect muqueux lors de la culture, en fait une espèce d'une importance clinique considérable, particulièrement redoutée dans les milieux hospitaliers en raison de son potentiel infectieux élevé.

5.2.2 Classification:

Règne : *Bacteria*

Phylum : *Protéobactéria*

Classe : *Gamma Protobacteria*

Ordre : *Enterobacteriales*

Famille : *Enterobacteriaceae*

Genre : *Klebsiella*

Espèce : *Klebsiella pneumoniae*

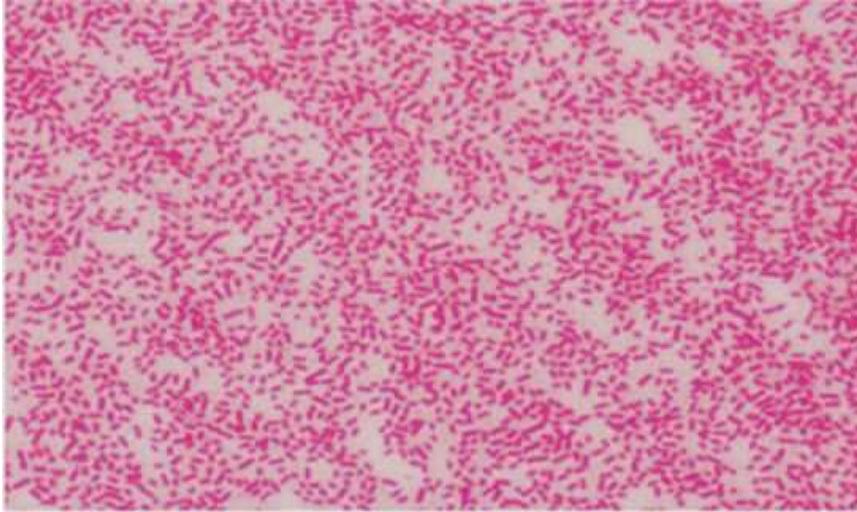


Figure 10 : Coloration de Gram de *Klebsiella pneumoniae*

Source : Adapté de Kulkarni et al., 2019.

5.2.3Habitat :

Bien que le texte de référence se focalise principalement sur les déterminants moléculaires de la virulence chez l'hôte, l'analyse de la niche écologique de *K. pneumoniae* permet de la classer parmi les micro-organismes ubiquitaires et opportunistes. Elle réside naturellement en tant que germe commensal au sein des voies respiratoires supérieures et du tractus gastrointestinal de l'homme et de divers animaux. Néanmoins, cette localisation initiale peut basculer lors d'un affaiblissement des barrières immunitaires de l'hôte ou à la suite d'une translocation anatomique. La bactérie colonise alors des sites normalement stériles, se propageant activement pour provoquer des infections systémiques graves, souvent exacerbées par une propension marquée à développer des profils de résistance multiantibiotique (Ashurst et Dawson, 2023).

5.2.4. Caractéristiques Structurales et Facteurs de Virulence :

La virulence agressive de *K. pneumoniae* repose sur un large éventail d'attributs structuraux hautement spécialisés qui orchestrent le processus infectieux. Le déterminant majeur et le plus étudié de cette pathogénicité est sa capsule polysaccharidique externe, pour laquelle 77 types capsulaires différents ont été identifiés à ce jour ; cette structure macromoléculaire s'avère indispensable, car les souches dépourvues de capsule présentent une virulence nettement atténuée. En synergie avec la capsule, la surface externe de ce bacille est recouverte de lipopolysaccharides (LPS), typiques de la membrane des bactéries à Gram négatif. De surcroît, l'équipement cellulaire comprend des structures filamenteuses d'adhésion, appelées fimbriae, ainsi que des systèmes de haute affinité pour le fer, nommés sidérophores, complétant ainsi un arsenal moléculaire complexe indispensable à la survie bactérienne in vivo (**Ashurst et Dawson, 2023**).

5.2.5. Pouvoir Pathogène et Mécanismes d'Action

Le pouvoir pathogène de *Klebsiella pneumoniae* se manifeste par une capacité remarquable à contourner les défenses immunitaires et à altérer l'homéostasie de l'organisme hôte (**Ashurst et Dawson, 2023**). Le premier mécanisme d'action, médié par la capsule, permet à la bactérie d'échapper efficacement à l'opsonophagocytose et de résister à la destruction induite par le sérum de l'hôte. Parallèlement, l'ancrage initial de la bactérie et sa fixation ferme aux cellules cibles sont assurés par l'expression des fimbriae, condition préalable à la colonisation tissulaire. Une fois établie, la bactérie utilise ses sidérophores pour capter activement le fer de l'hôte, ce qui soutient sa réplication métabolique et sa propagation systémique. Enfin, lors de la prolifération ou de la lyse bactérienne, la libération des lipopolysaccharides déclenche une cascade inflammatoire immunitaire massive, ce composant endotoxinique étant le principal responsable des séquelles graves de la septicémie et de son évolution redoutable vers le choc septique.

5.3. *Staphylococcus saprophyticus* :

5.3.1. Définition :

Staphylococcus saprophyticus est une bactérie à Gram positif, appartenant à la famille des *Staphylococcaceae*. Contrairement au célèbre *Staphylococcus aureus*, il est classé parmi les *staphylocoques* à coagulase négative (CoNS). C'est un micro-organisme anaérobie facultatif, non mobile, et se présentant souvent en grappes (**Prorok et al., 2025**).

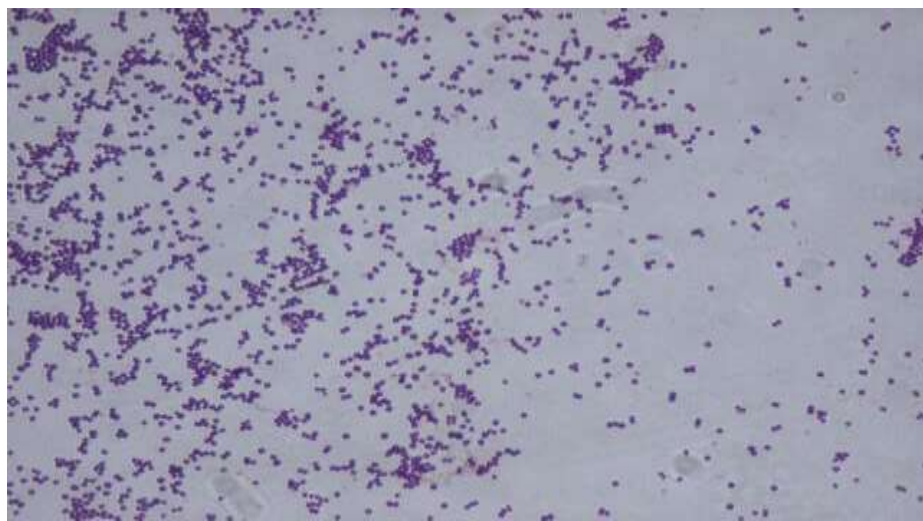


Figure 11 : *Staphylococcus saprophyticus* (coloration de Gram)
Source : Microbe Notes (Sapkota, 2022).

5.3.2. Classification :

Règne : *Bacteria*

Phylum : *Bacillota* (anciennement connu sous le nom de *Firmicutes*)

Classe : *Bacilli*

Ordre : *Caryophanales* (anciennement *Bacillales*)

Famille : *Staphylococcaceae*

Genre : *Staphylococcus*

Espèce : *Staphylococcus saprophyticus*

5.3.3.Habitat :

D'un point de vue écologique et épidémiologique, ce micro-organisme se caractérise par une distribution multi-réservoirs qui englobe les milieux humain, animal et environnemental.

Chez l'être humain, il s'intègre de façon constitutive à la flore normale – ou microbiote – de l'organisme, colonisant principalement le tractus gastro-intestinal ainsi que la zone périnéale, tout en manifestant une présence plus occasionnelle et sporadique au niveau du vagin. Audelà du réservoir humain, son spectre d'hôtes s'étend de manière significative au règne animal ; il est en effet fréquemment mis en évidence chez les animaux de rente, notamment les porcs et les vaches, ainsi que chez les animaux de compagnie tels que les chiens et les chats, ce qui vient précisément appuyer et confirmer les constatations issues de votre étude.

Enfin, ce profil épidémiologique est complété par une large dispersion dans l'environnement macroscopique et microscopique, le germe étant naturellement présent dans la matrice du sol et dans l'eau, mais également au sein des environnements domestiques et des habitations, où sa persistance et son accumulation sont directement entretenues par le phénomène biologique de la desquamation cutanée (**Prorok et al., 2025**).

5.3.4. Le pouvoir pathogène de *Staphylococcus saprophyticus* :

En fait le deuxième agent étiologique majeur des infections urinaires communautaires, telles que les cystites, chez les jeunes femmes sexuellement actives, se plaçant immédiatement après *Escherichia coli*. Cette uropathogénicité repose sur un arsenal de facteurs de virulence spécifiques, à commencer par une activité uréasique qui hydrolyse l'urée, alcalinise le pH urinaire et favorise ainsi la formation de calculs. De plus, la bactérie exprime des adhésines de surface qui permettent son ancrage aux cellules épithéliales du tractus urinaire, ainsi qu'une capacité à structurer un biofilm protecteur. Cette matrice extracellulaire altère l'efficacité du système immunitaire et limite la pénétration des antibiotiques.

Enfin, le profil de ce micro-organisme se caractérise par une résistance intrinsèque à la novobiocine, indispensable pour son identification en laboratoire, combinée à une résistance acquise croissante, illustrée par le gène *mecA* conférant la résistance à la méticilline, ce qui complexifie considérablement la prise en charge thérapeutique (**Prorok et al., 2025**).

5.4. *Proteus mirabilis* :

5.4.1. Définition et Écologie :

Proteus mirabilis est un bacille à Gram négatif, anaérobie facultatif, catalase-positif et oxydase-négatif, appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*. Naturellement présente dans l'environnement (sol, eau) et comme membre commensal de la flore intestinale humaine et animale, c'est une bactérie opportuniste dotée d'une motilité exceptionnelle par essaimage (swarming) grâce à des flagelles péritriches. Elle possède une forte capacité d'adhérence et de formation de biofilms sur les dispositifs médicaux (cathéters). Sur le plan clinique, c'est un agent pathogène majeur des infections urinaires compliquées et nosocomiales. Sa dangerosité réside dans sa forte production d'uréase, une enzyme qui alcalinise l'urine et induit la formation de calculs rénaux (lithiase de struvite), pouvant évoluer vers des atteintes rénales sévères, des bactériémies et un sepsis à forte mortalité chez les sujets âgés ou immunodéprimés (**Chakkour et al., 2024**).



Figure 12: *Proteus mirabilis* (coloration de Gram)

Source : GMBank.

5.4.2. Classification :

Règne : *Bacteria*

Embranchement : *Protéobactéria*

Classe : *Gamma Protobacteria*

Ordre : *Entérobactériale*

Famille : *Enterobacteriaceae*

Genre : *Proteus*

Espèce : *Proteus mirabilis*

5.4.3. Caractéristiques morphologiques et biochimiques

Sur le plan biologique, cette espèce se distingue par une plasticité phénotypique remarquable appelée dimorphisme cellulaire, qui induit des changements morphologiques drastiques selon les conditions de culture **(Coker et al., 2000)**. En milieu liquide ou de transition, la bactérie se présente sous la forme classique d'un bâtonnet unicellulaire isolé et mobile, adapté à la nage planctonique. En revanche, dès qu'elle entre en contact avec une surface solide, elle subit une différenciation complexe pour devenir une cellule allongée et multinucléée, capable d'initier un mouvement de migration collective et coordonnée connu sous le nom de phénomène d'essaimage (swarming).

Parallèlement à cette adaptabilité morphologique, *P. mirabilis* possède un profil biochimique spécifique marqué par la production d'une uréase inductible. En présence d'urée, cette enzyme clé catalyse une réaction d'hydrolyse qui décompose le substrat afin de générer du dioxyde de carbone et de l'ammoniac, ce qui a pour conséquence directe d'élever le pH du milieu environnant.

5.4.4. Pouvoir Pathogène :

Proteus mirabilis est un agent pathogène opportuniste fréquemment impliqué dans les infections du tractus urinaire (ITU) complexes, en particulier chez les patients soumis à un cathétérisme prolongé. Son potentiel infectieux repose sur un arsenal diversifié de facteurs de virulence qui orchestrent la colonisation, l'invasion et la persistance bactérienne au sein des voies urinaires **(Yang et al., 2024)**.

Parmi ces déterminants, les fimbriae jouent un rôle prépondérant en médiant l'adhérence initiale de la bactérie aux cellules épithéliales de l'hôte. De surcroît, la présence de flagelles confère à *P. Mirabilis* une motilité par essaimage (swarming) hautement caractéristique, facilitant sa migration ascendante le long de l'appareil urinaire et favorisant la dissémination de l'infection. Cette bactérie se distingue également par la production d'une uréase hautement active, capable d'hydrolyser l'urée en ammoniac et en dioxyde de carbone. L'alcalinisation du pH urinaire qui en résulte induit la précipitation d'ions minéraux, menant à la formation de calculs de struvite et d'apatite. Ces lithiases constituent de véritables niches protectrices, isolant les bactéries des défenses immunitaires de l'hôte et limitant la diffusion des agents antimicrobiens.

En outre, la capacité de *P. mirabilis* à s'organiser en biofilm à la surface des dispositifs médicaux et des tissus infectés représente un enjeu clinique majeur. Cette structure, enclose dans une matrice extracellulaire protectrice, exacerbe la résistance aux antibiotiques et soutient la chronicité ainsi que la récurrence des infections nosocomiales. Enfin, la sécrétion concomitante de diverses toxines et protéases accentue les lésions tissulaires et la réponse inflammatoire locale (Yang et al., 2024).

6. Pathogénie, Épidémiologie et Prise en Charge des Infections Urinaires

6.1. Physiopathologie et Progression de l'Infection :

Les infections urinaires découlent principalement de la migration de germes uropathogènes d'origine digestive. Le processus se déploie en trois phases clés :

Colonisation et Adhésion : les bactéries colonisent l'urètre et progressent vers la vessie grâce à des adhésines spécifiques permettant leur ancrage épithélial.

Prolifération : En cas de défaillance des défenses immunitaires de l'hôte, les pathogènes se multiplient et sécrètent des toxines et des enzymes métaboliques pour assurer leur persistance.

Ascension et Complications : en l'absence de prise en charge, l'infection peut atteindre le parenchyme rénal (pyélonéphrite) et franchir la barrière épithéliale, entraînant un risque Majeur de bactériémie (passage des bactéries dans le sang) Mancuso et al., (2023).

6.2. Particularités des IU Associées aux Soins (Infections Complicées):

Le cathétérisme urinaire modifie radicalement la dynamique infectieuse par deux mécanismes :

Dépôt de fibrinogène : l'insertion de la sonde induit une réaction inflammatoire locale, provoquant l'accumulation de fibrinogène sur le dispositif. Les bactéries s'y fixent via des protéines de liaison spécifiques.

Formation de biofilm : cette matrice protectrice isole les bactéries des vagues immunitaires et des traitements antibiotiques, exacerbant le risque de pyélonéphrite et de sepsis (Mancuso et al., 2023).

6.3. Épidémiologie et Facteurs de Risque :

Première cause d'infections nosocomiales et pathologies bactériennes les plus fréquentes à l'échelle mondiale, les infections urinaires voient leur sévérité accrue par la stase urinaire ou les dispositifs invasifs **Mancuso et al. (2023)**. Les facteurs de risque se divisent en quatre catégories :

Facteurs anatomiques : anomalies structurelles telles que le reflux vésico-urétéral ou l'hypertrophie bénigne de la prostate, entraînant une stase urinaire.

Facteurs physiologiques : Modifications biologiques, notamment l'atrophie vulvovaginale chez les femmes ménopausées.

Facteurs comportementaux (Habitudes de vie) : pratiques favorisant la migration des germes, comme une activité sexuelle fréquente ou l'utilisation de spermicides.

Facteurs héréditaires: prédispositions génétiques, illustrés par des antécédents familiaux d'infections urinaires récurrentes.

6.4. Approches Cliniques et Enjeux Thérapeutiques :

Une distinction biologique et clinique stricte est indispensable pour guider le traitement :

Bactériurie asymptomatique ($\geq 10^5 \text{ UFC/mL}$ sans symptômes) : L'abstention thérapeutique est la règle, sauf chez trois populations spécifiques : les femmes enceintes, les patients neutropéniques, ou en préopératoire urologique.

Infection urinaire symptomatique : elle impose une antibiothérapie ciblée. Néanmoins, l'exposition répétée aux antibiotiques altère les microbiotes intestinal et vaginal, agissant comme un moteur majeur de l'émergence de Bactéries Multi-Résistantes (BMR) **Mancuso et al.(2023)**.

7.L'Examen Cytobactériologique des Urines (ECBU) :

7.1. Définition :

Est un acte de biologie médicale fondamental qui consiste en une analyse quantitative et qualitative des urines afin de diagnostiquer une infection urinaire. Il repose sur deux étapes complémentaires : d'une part, l'examen cytologique, qui évalue la réaction inflammatoire en dénombrant les leucocytes et les hématies, et d'autre part, l'examen bactériologique, dédié à l'isolement, la quantification et l'identification précise de l'agent pathogène en cause. Cet examen est systématiquement finalisé par la réalisation d'un antibiogramme, un outil thérapeutique indispensable qui détermine le profil de sensibilité de la bactérie afin d'orienter et d'optimiser l'antibiothérapie (Sinawe et al., 2023)

7.2. Modalités de Prélèvement :

La pertinence des résultats de l'ECBU dépend rigoureusement de la qualité du prélèvement. Plusieurs techniques sont envisageables :

Technique de référence (Le milieu de jet / Mid-stream) : C'est la méthode la plus courante en raison de son caractère non invasif. Elle nécessite l'élimination du premier jet d'urine (qui entraîne la flore urétrale commensale) pour ne recueillir que la partie médiane.

Techniques aseptiques invasives : L'aspiration sus-pubienne et le cathétérisme urétral sont indiqués pour minimiser drastiquement les risques de contamination cutanéomuqueuse, notamment chez les patients incapables d'effectuer un auto-prélèvement.

Cas pédiatriques : Chez le jeune enfant, le prélèvement requiert un nettoyage périnéal préalable minutieux afin de réduire le taux élevé de contamination par la flore locale.

7.3. Phase Pré-analytique : Transport et Conservation

La phase pré-analytique est critique pour maintenir la charge bactérienne initiale de l'échantillon :

Délai d'analyse : L'ensemencement de l'échantillon (mise en culture) doit idéalement être effectué dans les 2 heures suivant le prélèvement

Conservation : En cas de report de l'analyse, l'urine doit être conservée à une température de 4 °C (réfrigération) ou stabilisée dans de l'acide borique, pour une durée maximale de 24 heures. Cette procédure vise à inhiber la prolifération des bactéries contaminantes.

7.4. Procédures Analytiques de Laboratoire :

L'analyse microbiologique se déroule en plusieurs étapes standardisées :

Milieux de culture : Ensemencement sur des milieux sélectifs et différentiels, tels que la gélose au sang (Blood agar) et la gélose MacConkey.

Conditions d'incubation : Les boîtes de Petri sont incubées à une température optimale de 35 à 37 °C pendant une période allant de 24 à 48 heures.

Identification et Quantification : Cette étape permet de dénombrer les bactéries, exprimées en Unités Formant Colonies par millilitre (UFC/mL), et de déterminer l'espèce bactérienne en cause (le plus souvent *Escherichia coli*).

7.5. Interprétation Clinique des Résultats :

Seuils de significativité (Positivité) : Bien que le seuil classique de 10^5 UFC/mL soit fréquemment adopté, il n'est pas absolu. Une concentration de 10^3 UFC/mL peut s'avérer cliniquement significative, particulièrement dans le contexte d'infections associées aux soins, comme les infections sur sonde urinaire (CA-UTI).

Bactériurie Asymptomatique (ASB) : Définie par une présence bactérienne significative ($\geq 10^5$ UFC/mL) en l'absence totale de manifestations cliniques. En règle générale, aucun traitement antibiotique n'est recommandé, à l'exception notable de la femme enceinte chez qui le risque de complications est élevé.

7.6. Facteurs d'Interférence et Limites de l'Examen :

L'exactitude et la valeur prédictive de l'ECBU peuvent être compromises par :

- Une antibiothérapie récente ou en cours (effet inhibiteur sur la croissance bactérienne).

- Une hyperhydratation (consommation excessive de liquides entraînant une dilution des urines et une baisse artificielle de la concentration bactérienne).
- Des erreurs techniques lors du prélèvement, conduisant à une contamination de l'échantillon par la flore urogénitale commensale.

8.Le microbiote urinaire (Urobiome) :

8.1. Définition et rôle du microbiote urinaire :

Regroupe l'ensemble des microorganismes présents dans les voies urinaires. Les techniques modernes de séquençage ont permis de montrer que les voies urinaires ne sont pas stériles.

Ce microbiote contribue à l'homéostasie, renforce l'immunité locale et protège contre la colonisation des agents pathogènes. Chez les femmes en bonne santé, les bactéries prédominantes sont les *Lactobacillus* qui préviennent les infections urinaires en produisant de l'acide lactique et du peroxyde d'hydrogène.(*Pastuszka A,et al 2025*)

8.2. Les applications cliniques du microbiote urinaire :

Prendent de l'importance. On attribue à des altérations de sa composition (dysbiose) plusieurs pathologies, notamment l'infection urinaire récurrente, l'hyperactivité vésicale, le cancer de la vessie et les calculs urinaires. L'analyse de l'urobiome ouvre la voie à de nouvelles stratégies diagnostiques et thérapeutiques, notamment l'utilisation de probiotiques, la restauration de l'équilibre microbien, la réduction de l'utilisation d'antibiotiques afin de freiner l'antibiorésistance.(*Pastuszka A,et al 2025*)

CHAPITRE III :
ACTIVITÉS ANTIMICROBIENNE
DES BACTÉRIES LACTIQUES

1.Introduction :

Les bactéries lactiques sont un groupe de microorganismes particulièrement étudiés en microbiologie alimentaire, en raison de leurs propriétés technologiques et de leurs effets bénéfiques sur la santé. Elles sont essentielles à la fermentation des aliments et, par leur action antimicrobienne, elles en assurent la conservation. Cette activité résulte surtout de la production de divers métabolites (acides organiques, bactériocines, peroxyde d'hydrogène et autres composés bioactifs) qui inhibent la croissance des microorganismes pathogènes et des bactéries d'altération. Les BAL constituent donc une alternative naturelle prometteuse aux conservateurs chimiques et font actuellement l'objet de nombreuses recherches pour leur utilisation en bioconservation des aliments.

Pour cette raison, les bactéries lactiques sont une alternative naturelle prometteuse aux conservateurs chimiques et font actuellement l'objet de nombreuses recherches pour leur utilisation dans la bioconservation des aliments. Des travaux récents ont également montré que plusieurs souches de bactéries lactiques possèdent une activité inhibitrice contre divers agents pathogènes, ce qui souligne leur potentiel dans les domaines de l'alimentation, de la santé et des biotechnologies (*Latreche et al., 2025*)

2.Métabolisme des bactéries lactiques :

2.1. Voie homofermentaire stricte (voie d'Embden-Meyerhof-Parnas) :

Les souches homofermentaires, telles que *Lactobacillus acidophilus* ou *Lactococcus lactis*, sont largement exploitées en industrie pour la production à grande échelle d'acide lactique.

Sur le plan biochimique, les hexoses, notamment le glucose, sont dégradés via la glycolyse classique, appelée voie d'Embden-Meyerhof-Parnas (EMP). Au cours de ce processus, le glucose est clivé en deux molécules de trioses-phosphates sous l'action de la fructose 1,6-bisphosphate aldolase. La dernière étape consiste en la réduction du pyruvate en acide lactique, catalysée par la lactate déshydrogénase (LDH), accompagnée de l'oxydation du

NADH en NAD^+ , permettant ainsi la continuité du métabolisme glycolytique (*Kiiv et al., 2024*).

2.2. Voie hétérofermentaire (voie des pentoses phosphates / phosphokétolase) :

Les bactéries lactiques hétérofermentaires, telles que *Leuconostoc mesenteroides*, *Limosilactobacillus fermentum* et certaines espèces de *Weissella*, sont caractérisées par un métabolisme glucidique alternatif à la voie glycolytique classique. Cette voie est

principalement utilisée en raison de l'absence de l'aldolase de la voie d'EmbdenMeyerhofParnas, ce qui oriente la dégradation des sucres vers la voie des pentoses phosphates (**Gänzle, 2024**).

Sur le plan biochimique, le glucose est d'abord transformé en intermédiaires issus de la voie des pentoses phosphates, puis clivé par l'enzyme phosphokétolase. Ce processus conduit à la formation de plusieurs produits finaux, notamment l'acide lactique, l'acide acétique ou l'éthanol, ainsi que le dioxyde de carbone (CO_2). La répartition de ces produits dépend des conditions enzymatiques et redox de la cellule, reflétant la flexibilité métabolique de ces bactéries lactiques (**Saulnier-Bellemare & Patience, 2024**).

3. Acides organiques :

3.1. Acide lactique :

L'acide lactique, ou acide 2-hydroxypropanoïque, constitue un composé organique multifonctionnel prépondérant dans les processus biotechnologiques. Sa structure moléculaire, répondant à la formule semi-développée $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$, se distingue par la présence d'un groupement hydroxyle en position alpha (α) de la fonction acide carboxylique. Cette configuration structurale lui confère un centre de chiralité au niveau du deuxième atome de carbone, induisant ainsi l'existence de deux énantiomères optiquement actifs : les formes L(+) et D(-), respectivement associées aux configurations absolues (S) et (R) (**Vandenberghe et al.,(2018)**). Au-delà de ses propriétés chimiques, ce métabolite revêt une importance capitale en microbiologie, où sa production résulte essentiellement de la fermentation lactique. La pureté stéréoisomérique de l'acide ainsi synthétisé dépend intrinsèquement de l'équipement enzymatique de la souche microbienne utilisée, ce qui souligne l'étroite corrélation entre la structure chimique de la molécule et ses origines biosynthétiques.

3.2Acide acétique :

L'acide acétique est produit par certaines bactéries lactiques au cours de la fermentation hétérofermentaire des glucides. Grâce à sa forme non dissociée, il peut traverser la membrane cytoplasmique des bactéries pathogènes et provoquer une diminution du pH intracellulaire, entraînant une perturbation des fonctions métaboliques et énergétiques de la cellule bactérienne. Cet acide contribue ainsi à l'inhibition de plusieurs microorganismes

pathogènes, notamment *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae* (Sivamaruthi et al., 2025). (Stasiak-Róžańska et al., 2025).

3.3 Acide phényllactique :

La biosynthèse de l'acide phényllactique (PLA) par les bactéries lactiques implique la transformation de la phénylalanine en phénylpyruvate (PPA) par transamination, suivie de sa réduction en PLA sous l'action de la lactate déshydrogénase (LDH) avec consommation de NADH. Ce composé possède une importante activité antimicrobienne grâce à son caractère lipophile lui permettant de s'insérer dans la membrane cytoplasmique des bactéries pathogènes. Il provoque ainsi une altération de la perméabilité membranaire, une dissipation du gradient de protons et une acidification intracellulaire, conduisant à l'épuisement énergétique et à l'inhibition de la croissance bactérienne. Cette activité inhibitrice a été observée contre plusieurs uropathogènes tels que *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Proteus mirabilis* (Mani-López et al., 2026).

4. Acide gras :

Les acides gras exercent une activité antimicrobienne significative contre les bactéries pathogènes, principalement par des mécanismes impliquant la perturbation de l'intégrité membranaire. Selon Nazzaro et al. (2026), ces composés peuvent s'insérer dans la bicouche lipidique de la membrane bactérienne, entraînant une augmentation de sa perméabilité, une fuite des constituants intracellulaires et, par conséquent, une altération des fonctions métaboliques essentielles. En outre, les acides gras interfèrent avec les systèmes de communication bactérienne, notamment le quorum sensing, ce qui perturbe la régulation des gènes impliqués dans la virulence et la formation de biofilms. L'étude souligne également leur rôle important dans l'activité antibiofilm, en inhibant l'adhésion initiale des bactéries aux surfaces et en empêchant la maturation des biofilms, ou en affaiblissant leur structure lorsqu'ils sont déjà formés. Ces effets contribuent à réduire la résistance des bactéries pathogènes aux traitements antimicrobiens.

5. D'autres métabolites :

5.1 Peroxyde d'hydrogène :

Certaines bactéries lactiques produisent du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) au cours de leur métabolisme en présence d'oxygène, principalement grâce à l'activité de flavoprotéines oxydases et de NADH oxydases. Ce composé possède une importante activité

antimicrobienne en générant un stress oxydatif capable d'endommager les protéines, les lipides membranaires et l'ADN des microorganismes pathogènes. Le peroxyde d'hydrogène provoque également une altération de la perméabilité membranaire et perturbe plusieurs fonctions cellulaires essentielles, conduisant ainsi à l'inhibition de la croissance bactérienne (**Siedler et al., 2019**).

6.Bactériocines :

6.1Définition :

Les bactériocines sont des peptides de petite taille possédant des caractéristiques antibactériennes. Elles sont générées tant par des bactéries Gram (+) que par des bactéries Gram (–). Jusqu'à présent, on a décrit plusieurs centaines de bactériocines. La catégorisation des bactériocines évolue constamment, en fonction des découvertes récentes. On dispose de renseignements sur leur structure, leur séquence d'acides aminés et le mécanisme d'action établi. Plusieurs bactériocines (aussi appelées lantibiotiques) renferment des acides aminés inhabituels, comme la lantionine (Lan), la méthyllantionine (MeLan), la déhydroalanine (Dha), la déhydrobutyrine (Dhb) ou encore l'alanine D (D-Ala). Les bactéries lactiques, en particulier le *Lactococcus lactis*, sont reconnues pour produire les bactériocines les plus notables, y compris la nisine. On a identifié ces bactériocines comme étant complètement sans danger pour l'être humain. À l'heure actuelle, la nisine est employée dans le secteur de l'alimentation en tant qu'additif conservateur. Les bactéries lactiques, les bactériocines et les préparations probiotiques représentent une option de remplacement aux antibiotiques et sont employées dans la nutrition humaine et animale (**Dortu et Thonart, 2009**).

6.2Classification des bactériocines :

Les bactériocines synthétisées par les bactéries à Gram positif sont principalement classifiées en fonction de leur masse moléculaire, de leur thermostabilité et de leurs modifications posttraductionnelles (**Solis-Balandra et Sanchez-Salas, 2024**). Sur la base de ces critères, elles sont généralement réparties en quatre classes majeures

Classe I : Les antibiotiques :

Les antibiotiques regroupent des peptides de faible poids moléculaire (< 5 kDa) caractérisés par une stabilité thermique élevée. Leur singularité réside dans l'importance des modifications posttraductionnelles, incluant la formation d'acides aminés atypiques tels que

la lanthionine et la β -méthyllanthionine. Ces acides aminés permettent la formation de ponts intra-caténaires (souvent via des liaisons disulfures), conférant à la molécule une structure cyclique.

Cette classe se subdivise en deux catégories selon leur charge :

- **Classe Ia** : Molécules de nature polaire possédant une charge nette positive.
- **Classe Ib** : Molécules présentant une charge nette négative ou neutre.

Classe II : Peptides non modifiés de faible poids moléculaire :

Cette classe comprend des peptides de petite taille (< 10 kDa) qui, contrairement à la Classe I, subissent peu ou pas de modifications post-traductionnelles. Elle est organisée en quatre sous-groupes fonctionnels et structuraux

- **Sous-classe Iia** (Pédioficine-like) : Peptides hautement spécifiques, reconnus pour leur forte activité anti-Listeria.

Sous-classe Iib (Bicomposantes) : Systèmes dont l'activité antimicrobienne nécessite l'action synergique de deux peptides distincts.

Sous-classe Iic : Peptides dont la structure est circulaire.

Sous-classe Iid : Peptides linéaires ne manifestant pas d'activité spécifique contre le genre Listeria.

Classe III : Bactériocines de haut poids moléculaire :

Cette catégorie regroupe des protéines de masse moléculaire importante (> 30 kDa). Du fait de leur structure protéique complexe, elles sont particulièrement thermolabiles (sensibles à la chaleur). Il est à noter que certains effecteurs de cette classe, à l'instar de la klebcine, peuvent également être synthétisés par des souches à Gram-négatif sous des conditions environnementales spécifiques.

Classe IV : se distinguent par leur nature de protéines complexes, intégrant des groupements lipidiques ou glucidiques essentiels à leur activité biologique (*Simons et al., 2020*). Des exemples emblématiques tels que la plantaricine S et la leuconocin S illustrent leur mode d'action, qui repose principalement sur la désorganisation de la membrane cytoplasmique bactérienne.

Toutefois, cette spécificité structurale hybride confère à ces molécules une sensibilité accrue vis-à-vis de diverses enzymes hydrolytiques, limitant ainsi leur stabilité dans certains environnements biologiques, tout en offrant des perspectives prometteuses dans la lutte contre les bactéries multi-résistantes.

Tableau 2 : Diversité structurale et classification des bactériocines de classe II : Analyse des séquences primaires (Dortu et Thonart, 2009).

Classe IIa: « Pediocin-like bacteriocin »	
Mésentéricine Y105	MTNMKSVEAYQQLDNQNLKVVGGKYYGNGVHCTKSGCSVNWGEAASAGIHRLANGGNGFW
Sakacine P	-----MEKFIELSLKEVTAITGGKYYGNGVHCGKHSCTVDWGTAGNIGNNAAANWATGWNAGG
Curvacine A	-----MNNVKELSMTELQTITGGARSYGNGVYCENKCKWVNREATQSIIGGMISGWASGLAGM
Piscicoline 126	-----MKTVKELSVKEMQLTTGGKYYGNGVSCNKNKCTVDWSKAIGIIGNNAAANLTTGGAAGWNKG
Carobactériocine Bm1	-----MKSVKELNKKEMWINGGAISYGNGVYCENKCKWVNKAENKQAITGIVIGGWASSLAGMGH
Pédiocine PA-I	-----MKKIEKLTEKEMANIIGGKYYGNGVTCGKHSCTVDWGTATTCTIINNGAMAWATGGHQNHRK
Entéroccine A	-----MKHLKILSIKETWLIYGGTTHSGKYYGNGVYCTFNKCTVDWAKATTCTIAGMSIGGFLGGAIPGKC
Sakacine G	-----MKNTRSLTIQEIKSITGGKYYGNGVSCNSHSCSVNWGQAWTCGVNHLANGGHGVC
Classe IIb: « Two-peptides bacteriocin »	
ABP-118	α KRGPNVGVNFLGGLFAGAAAGVPLGPAGIVGGANLGMVGGALTCL β KNGYGGSGNRWVHCGAGIVGGALIGAIGGPWSAVAGGISGFTSCR
Lactocine 705	α MDNLNKFKKLSDNKLQATIGG β MESNKLKFKANISNKDLNKITGG
Lactococcine MN	M IRGTGKGLAAAMVSGAAMGGAIGAFGGFVGAIMGAWGGAVGGAMKYSI N GSIWGAIAGGAVKGAIAASWTGNPVGIGMSALGGAVLGGVTYARPVH
Plantaricine EF	E FNRGGYNFGKSVRHVDAIGSVAGIRGILKSIR F VFHAYSARGVRRNNYKSAVGPADWVISAVRGFIHG
Classe IIc	
Plantaricine A	MKIQIKGMKQLSNKEMQKIVGGKSSAYSLSQMGATAIKQVKLFKKWGW
Lactococcine A	MKNQLNFNIVSDEELSEANGGKLTFIQSTAAGDLYNTNTHKYVYQQTQNAFGAAANTIVNGWMGG AAGGFGLHH
Lactococcine 972	MKTRSLVLALSAVTLFSAGGIVAQAEGTWQHGYPVSSAYSNNYHSGSKTHSATVVNNNTGRQSKDTQ RAGVWAKATVGRNLTEKASFYNNFW

6.3. Mode d'Action des Bactériocines :

Peptides antimicrobiens (AMP), synthétisés par la quasi-totalité des règnes du vivant, déploient une vaste gamme de stratégies cytotoxiques allant de la liaison au matériel génétique à la désorganisation des organites intracellulaires et des structures membranaires. Bien que leur rôle soit primordial dans la défense immunitaire des plantes et des animaux contre les agents pathogènes, leur puissance d'action peut occasionner une toxicité collatérale envers les cellules eucaryotes de l'hôte.

Toutefois, les bactériocines se distinguent par une sélectivité procaryote marquée, attribuée à leurs propriétés physicochimiques spécifiques. En raison de leur caractère cationique, de leur faible poids moléculaire (généralement inférieur à 10 kDa) et de leur nature amphiphile, ces molécules adhèrent préférentiellement aux membranes bactériennes et pénètrent les bicouches phospholipidiques avec une efficacité accrue par rapport aux AMP conventionnels (Zimina et al., 2020)

L'activité antibactérienne, particulièrement chez les antibiotiques tels que la nisine, repose sur la formation de pores transmembranaires au sein des surfaces cellulaires chargées négativement, provoquant un efflux massif de métabolites essentiels. Certains peptides, à l'instar de la nisine Z, opèrent à des concentrations nanomolaires en se fixant sur des cibles moléculaires précises comme le lipide II, un précurseur clé de la paroi cellulaire également ciblé par la vancomycine. D'autres mécanismes impliquent la liaison au bactoprényl pyrophosphate ou aux protéines du système mannose phosphotransférase, entraînant une perméabilisation membranaire qui induit une dépolarisation électrique, une perte de régulation osmotique et, in fine, une lyse cellulaire rapide par rupture de l'enveloppe.

Par ailleurs, la fragilisation de la membrane facilite la translocation des peptides vers le compartiment cytoplasmique, où ils interfèrent avec des processus vitaux tels que la réplication de l'ADN, la synthèse protéique et l'activité enzymatique. Si les bactéries à Gram négatif bénéficient naturellement d'une protection via leur membrane externe, des stress environnementaux comme les variations de pH, de température ou l'action d'agents chélateurs tels que l'EDTA peuvent les rendre vulnérables aux bactériocines des Gram positifs.

Des recherches récentes soulignent également la polyvalence de peptides comme l'helvéticine M, capable de désorganiser tant les parois des Gram positifs que les membranes des Gram négatifs. En somme, l'efficacité des AMP et des bactériocines qui s'étend parfois jusqu'à une activité sporicide résulte d'une toxicité multicible sophistiquée, bien que les fondements moléculaires exacts de nombre de ces peptides fassent encore l'objet d'investigations approfondies (**Zimina et al., 2020**).

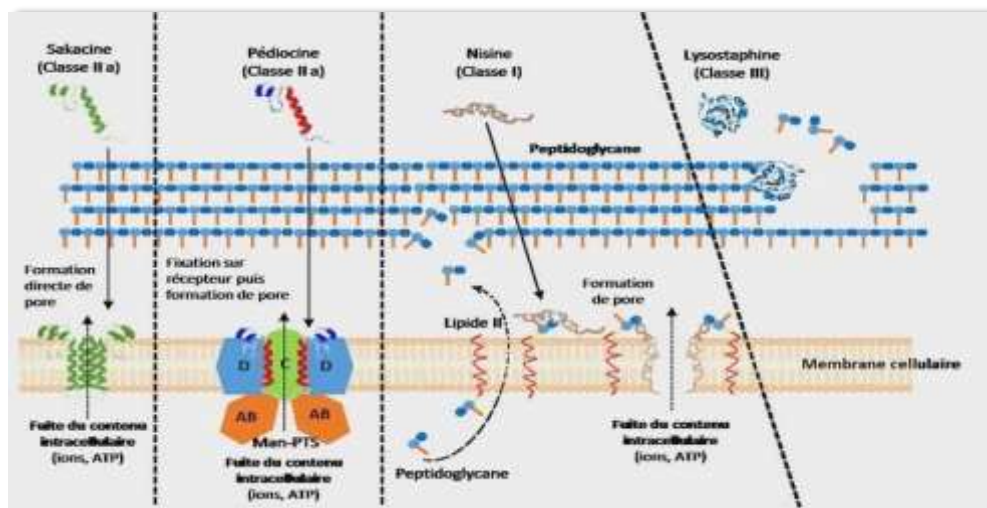


Figure 13 : Mécanismes d'action des bactériocines (classes I, II et III) sur la membrane et la paroi de la cellule bactérienne (*Taale et al., 2016*).

6.4. Applications des bactériocines :

6.4.1. Domaine agroalimentaire:

À l'échelle industrielle et de la transformation des denrées, les bactériocines s'imposent comme des agents de bioconservation stratégiques et polyvalents, offrant une réponse concrète aux exigences modernes de qualité, de durabilité et de sécurité sanitaire. Selon **Bahrami et al. (2024)**, l'application de ces peptides bioactifs au sein des matrices alimentaires permet non seulement d'inhiber les micro-organismes d'altération afin de préserver les qualités organoleptiques et de prolonger la durée de conservation (shelf-life) des produits, mais aussi de neutraliser efficacement les principaux pathogènes d'origine bactérienne, garantissant ainsi une protection rigoureuse des consommateurs contre les intoxications alimentaires.

De surcroît, leur intégration innovante dans la conception d'emballages actifs permet une libération contrôlée de la molécule antimicrobienne à la surface des denrées, optimisant de ce fait leur efficacité technologique.

Enfin, en tant que molécules biosourcées issues de bactéries généralement reconnues comme sûres (statut GRAS) et facilement dégradables par le système digestif humain, les bactériocines représentent une alternative naturelle incontournable aux conservateurs chimiques conventionnels, répondant ainsi parfaitement à la demande industrielle et sociétale pour des produits de type *Clean Label*.

6.4.2 Domaine médicale et pharmaceutique :

Face à la crise mondiale de l'antibiorésistance, les bactériocines s'imposent désormais comme des alternatives thérapeutiques majeures grâce à leur efficacité ciblée et leur faible cytotoxicité. Ces peptides antimicrobiens, modulables à large ou à spectre étroit, permettent d'éradiquer des pathogènes critiques sans altérer la microflore saine du patient, démontrant une action inhibitrice remarquable contre les superbactéries du groupe ESKAPE, tout en restaurant l'homéostasie du microbiome en cas de dysbiose profonde pour prévenir les infections chroniques à *Clostridioides difficile*, les troubles inflammatoires et les risques de tumorigenèse associés.

De surcroît, le domaine pharmaceutique explore activement leurs propriétés oncologiques sélectives par dépolarisation des membranes des cellules cancéreuses négativement chargées, ainsi que leurs effets antiviraux prometteurs contre le virus Herpes simplex et leurs capacités antileishmaniens in vitro (**Solis-Balandra et SanchezSalas, 2024**).

Cependant, malgré les avancées majeures de la bio-ingénierie, de l'expression hétérologue et du minage métagénomique permettant d'identifier et d'optimiser ces biomolécules, la grande majorité d'entre elles restent encore bloquées au stade préclinique, car l'évaluation rigoureuse de leur innocuité, de leur stabilité structurelle et de leur sécurité systémique chez l'être humain constitue le principal défi scientifique actuel avant toute transition vers le marché (**Sugrue et al., 2024**).

6.4.3 Le domaine agricole:

En agriculture durable, les bactériocines principalement issues du genre *Bacillus spp.* agissent à la fois comme régulateurs de croissance et agents de biocontrôle. Leur application sur les cultures stimule le métabolisme végétal, entraînant une augmentation mesurable de l'activité photosynthétique et du développement de la surface foliaire.

Cela se traduit par une hausse de la biomasse sèche chez des cultures clés comme le maïs, le soja et la tomate. L'utilisation combinée de cocktails de bactériocines spécifiques, telles que la bacthuricine F4, la thuricine 17 et la céréine 8A, permet d'augmenter la photosynthèse de 6% et le poids sec des plantes de 15% par rapport aux témoins (**Reuben et Torres, 2024**). Au niveau racinaire, ces peptides intensifient la nodulation, ce qui optimise la fixation de l'azote et l'absorption des nutriments.

L'application de ces molécules, en particulier celles sécrétées par *Bacillus thuringiensis* et *Bacillus cereus*, dynamise les interactions symbiotiques au niveau de la rhizosphère, renforçant la vigueur globale du végétal.

Sur le plan de la protection des cultures, les bactériocines exercent une action antibactérienne directe contre les microorganismes phytopathogènes tout en déclenchant une résistance systémique acquise qui stimule les mécanismes de défense naturels des végétaux face aux maladies.

6.4.4. Domaine vétérinaire :

Dans le secteur des productions animales, les bactériocines s'imposent comme une alternative majeure aux antibiotiques pour pallier l'émergence des résistances. En médecine vétérinaire, elles permettent de contrôler la mammite bovine par application topique de nisine ou de lacticine 3147, éliminant les pathogènes comme *Staphylococcus aureus*.

L'efficacité de ces peptides a d'ailleurs mené à l'approbation par la FDA de préparations commerciales de nisine pour les vaches en lactation, tandis que d'autres molécules comme l'aureocine A70 affichent des effets anti-mammite prometteurs.

De plus, leur administration chez les volailles et les porcins (microcine J25, divercine AS7) réduit la charge de bactéries zoonotiques telles que *Salmonella* et *Escherichia coli*, limitant la mortalité liée à des maladies comme le choléra aviaire **(Reuben & Torres, 2024)**.

Parallèlement, ces molécules agissent comme de puissants promoteurs de croissance en élevage. L'incorporation de souches bactériocinogéniques, telles que *Lactobacillus plantarum* productrice de plantaricine EF, module positivement le microbiote intestinal, ce qui optimise l'indice de consommation et améliore les paramètres hémato-biochimiques ainsi que l'efficacité alimentaire globale des broilers et des porcelets tout en prévenant les diarrhées post-sevrage. Enfin, en aquaculture, elles renforcent le système immunitaire des poissons (comme la truite arc-en-ciel), assainissent l'eau des bassins et servent d'agents de biopréservation pour prolonger la conservation des produits de la mer.

7. Mécanismes d'inhibition des uropathogènes par les bactéries lactiques:

Synergie entre antagonisme et concept des obstacles : l'efficacité des bactéries lactiques dans la lutte contre les infections urinaires repose sur un arsenal de défense hautement sophistiqué, agissant par un antagonisme multifactoriel qui combine des actions directes et indirectes.

Selon une revue récente de **Hernandez-Figueroa et al. (2024)**, cet antagonisme est médié par la sécrétion de divers métabolites bioactifs qui génèrent un environnement hostile pour les souches pathogènes. La synthèse d'acides organiques, notamment l'acide lactique, l'acide acétique et l'acide butyrique, abaisse le pH du milieu, ce qui perturbe l'homéostasie cytoplasmique des bactéries cibles.

En parallèle, la production de peroxyde d'hydrogène et de peptides antimicrobiens, tels que les bactériocines (nisine, reutéline, lacticine), induit une perforation des membranes cellulaires, provoquant ainsi la lyse des pathogènes cliniquement significatifs. Cette dynamique d'inhibition s'inscrit rigoureusement dans le concept des obstacles (Hurdle Technology) détaillé par **Adeiza et al. (2024)**. Dans cette approche, la survie des uropathogènes tels qu'*Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae* et *Staphylococcus saprophyticus* est entravée par une succession de barrières métaboliques et physiques agissant en synergie. D'une part, les LAB exercent une exclusion compétitive en saturant les sites d'adhésion épithéliaux et en entrant en compétition pour les ressources nutritionnelles disponibles, limitant ainsi la colonisation bactérienne.

D'autre part, la capacité des bactéries lactiques à structurer des biofilms protecteurs renforce leur persistance dans l'appareil urogénital tout en créant un obstacle physique contre l'invasion des souches indésirables. En complément de ces activités métaboliques, les travaux de **Hernandez-Figueroa et al. (2024)** soulignent que certaines souches comme *L. Plantarum* et *L. Fermentum* interviennent au niveau immunitaire en modulant la réponse inflammatoire, notamment via l'inhibition des cytokines pro-inflammatoires (TNF α , IL-1b). Ainsi, l'intégration de ces mécanismes allant de l'acidification à la modulation immunitaire en passant par la barrière physique confirme que l'usage des bactéries lactiques émerge comme une alternative biothérapeutique incontournable pour pallier les limites des antibiotiques conventionnels face à la montée des résistances bactériennes

Etude Expérimentale

Chapitre I :

Matériel et Méthodes

I. Matériel et Méthodes :

1.objectif d'étude :

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'effet antagoniste des bactéries lactiques vis-à-vis des germes pathogènes responsables des infections urinaires, afin de déterminer leur capacité à inhiber la croissance de ces microorganismes et d'explorer leur potentiel comme agents biologiques de lutte contre les infections urinaires.

2.Lieu et période d'étude :

Ce travail a été réalisé au sien de laboratoire de microbiologie N°3 de l'université de Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem durant la péroide allant de 23 février jusqu'au 6 mai dans d'excellentes conditions.

3.Matériel :

3.1. Matériel biologiques

3.1.1. Les souches de bactéries lactiques :

Dans cette étude, on a utilisé trios souches de bactéries lactiques. Elles avaient été isolées et caractérisées par le **Dr. DAHOU ET Melle ATTOURA** doctarante au laboratoire des sciences et techniques de production animale (LSTPA) de Hassi Mamache, dépendant de la faculté des sciences de la nature et de la vie de Mostaganem. On les a identifiés par des méthodes classiques de microbiologie. Dans le tableau (03), on a rassemblé les espèces différentes ainsi que leur provenance

Tableau 03 : souches des bactérires lactiques

Souches bactériennes :	Code :	Origine :
<i>Streptococcus thermophilus</i>	strep	Produits laitiers
<i>Lactococcus lactis</i>	Lac.c	Produits laitiers
<i>lactobacillus spp</i>	Lact.b	Produits laitiers

3.1.2.les souches pathogènes :

L'activité antimicrobienne des souches de bactéries lactiques a été évaluée sur quatre souches indicatrices uropathogènes de référence (Tableau 04). Elles ont été isolées, identifiées et fournies par **Mlle. ATTOURA** , doctorante au Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale (LSTPA) de Hassi Mameche (Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Mostaganem).

Tableau 04 : souches des bactéries pathogènes

Souches bactériennes :	Code :	Origine :
<i>Escherichia coli</i>	E.coli	Urines d'un homme
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	staph	Urines d'un homme
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	kleb	Urines d'un homme
<i>Proteus mirabilis</i>	prot	Urines d'un homme

3.2. Matériel non biologique : (appareillage, milieux de cultures et Réactifs) voir l'annexe 1et2

4.Méthodes :

4.1. revivification et purification des souches bactériennes :

Visé à rétablir leur activité métabolique et leur capacité de croissance après leur conservation. Les souches lactiques conservées ont été réactivées dans un bouillon MRS (*de Man, Rogosa et Sharpe*), milieu sélectif favorisant la croissance des bactéries lactiques, puis incubées à 30–37 °C pendant 24 à 48 h. La croissance bactérienne se traduit par l'apparition d'un trouble du milieu, et parfois par un dépôt cellulaire au fond du tube. Les souches pathogènes ont été ressuscitées dans un bouillon nutritif puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. Après incubation, les cultures ont été étalées sur des milieux solides adaptés pour obtenir des colonies isolées. (*Université de Blida 1*)

4.2. Caractérisation et identification des souches lactiques :

4.2.1 Examen macroscopique :

L'examen macroscopique a consisté à observer les caractéristiques des colonies développées sur gélose, notamment leur taille, leur forme et leur couleur, ainsi qu'à évaluer la présence d'un trouble dans les milieux liquides.

4.2.2. Examen microscopique :

L'observation microscopique des colonies, réalisée après coloration de Gram, a permis de caractériser leur réaction au Gram, leur morphologie et leur disposition.

4.2.3. Coloration de Gram :

La coloration de Gram permet de classer les bactéries en fonction de leur paroi. Les Grampositives ont un peptidoglycane épais qui emprisonne le colorant, alors que les

Gram-négatives, qui ont une fine couche et une membrane riche en lipides, se décolorent facilement. Sur un frottis fixé, la technique en quatre étapes est de passer au violet de cristal (1 min) puis au Lugol (1 min). Puis, il y a une rapide décoloration à l'alcool ou à l'acétone (<10 s), étape critique pour ne pas tout laver. Enfin, on ajoute (<1 min) la safranine comme colorant de contraste. Sous le microscope, les Gram-positifs sont violets et les Gram-négatifs roses/rouges. (Paray et al,2023)

4.2. 4. Teste catalase :

Le test de la catalase permet de distinguer les bactéries :

Principe : la bactérie possède une enzyme, la catalase, qui décompose le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau et en oxygène.

Méthode : mettre une goutte d'eau oxygénée sur une colonie de bactéries étalée sur une lame.

Résultat : Positif (+) : Apparition rapide de bulles de gaz (*ex. Staphylococcus*). Négatif (-) : absence de granulations (*ex. Streptococcus, bactéries lactiques*). (Hadwan,M.H et al 2024)

4.2.5. Teste oxydase :

Le test de l'oxydase détecte la présence de l'enzyme cytochrome c oxydase, un constituant essentiel de la chaîne respiratoire de certaines bactéries aérobies (**Michel et al., 1998**). En présence d'oxygène moléculaire, cette enzyme catalyse le transfert d'électrons depuis le cytochrome c vers le réactif artificiel incolore utilisé, comme le réactif de Kovacs (**MacFaddin, 2000**). Ce réactif sert de donneur d'électrons et, en se faisant oxyder, se transforme rapidement en un composé coloré appelé bleu d'indophénol (**Leber, 2016**).

L'apparition d'une coloration bleu foncé à violette en moins de 60 secondes indique ainsi un résultat positif (**MacFaddin, 2000**).

4.3. Préparation de la suspension bactérienne et des dilutions :

Cette technique a consisté à prélever, à l'aide d'une anse stérile, de 3 à 5 colonies isolées et morphologiquement identiques, issues de cultures fraîches âgées de 18 à 24 heures. Ces colonies ont étéensemencées avec précision dans des milieux liquides adaptés, à savoir le bouillon MRS pour les bactéries lactiques et le bouillon nutritif pour les souches pathogènes. Afin de garantir une homogénéisation optimale de l'inoculum, les tubes ont été agités vigoureusement au vortex, puis placés en incubation à 37 °C pendant 18 à 24 heures. A partir de cette suspension mère, des dilutions en série ont été réalisées en introduisant 1 ml de la culture bactérienne dans un tube contenant 9 ml d'une solution saline physiologique (NaCl à 0,85 %). Cette étape est rigoureusement appliquée aux souches pathogènes urinaires de référence, notamment *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis* et

Staphylococcus saprophyticus, afin d'obtenir une dilution standardisée nécessaire pour la réalisation des tests d'antagonisme et de sensibilité aux antibiotiques.

4.4. Évaluation de l'activité antagoniste des bactéries lactiques :

4.4.1. Méthode de diffusion sur disques :

Pour évaluer le pouvoir antagoniste des souches lactiques, la méthode de diffusion sur gélose a été utilisée. Cette technique met en évidence la capacité des bactéries lactiques à libérer des substances inhibitrices dans leur milieu de culture. Pour ce faire, des disques de papier Whatman n°1 (6 mm) ont été imprégnés de 20 µL de la solution mère de chaque souche lactique. Ces disques ont ensuite été déposés sur des géloses MuellerHinton, préalablement ensemencées avec les isolats uropathogènes. Après une incubation de 24 heures à 37 °C, la mesure des zones d'inhibition formées autour des disques a permis de démontrer l'efficacité des substances inhibitrices (acide lactique, bactériocines, peroxyde d'hydrogène, etc.) contenues dans la solution mère contre les uropathogènes (*Soltani et al., 2022*).

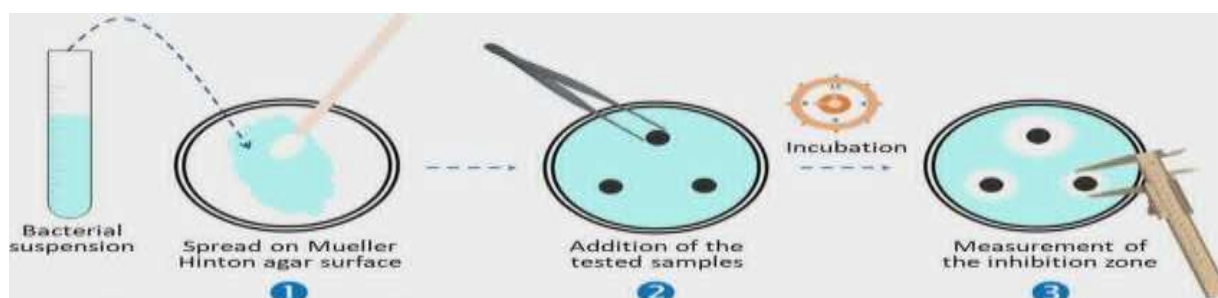


Figure 14 : Procédure du test de diffusion sur disque (Méthode de *MUELLER-HINTON*)

Source : *Polymer Bulletin* (2022).

4.4.2. La technique des puits (Agar well diffusion) :

Consiste à ensemencer la surface d'une gélose avec une suspension bactérienne et à y creuser des puits normalisés. On ajoute ensuite à l'intérieur de ces cavités un volume précis de l'agent antimicrobien à tester. La substance diffuse alors dans le milieu de culture et empêche le développement microbien dans le voisinage du trou. Après incubation, on mesure le diamètre de la zone circulaire d'inhibition (absence de croissance) afin d'évaluer l'activité antimicrobienne. (*Balouiri et al, 2016*)

4.5. Méthode de l'antibiogramme la sensibilité aux antibiotiques :

A été évaluée par la méthode de diffusion sur disque (Kirby-Bauer) conformément aux recommandations du Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). Des suspensions bactériennes, préparées à partir d'isolats dans une solution saline, ont été ensemencées de manière uniforme sur la surface de gélose Mueller-Hinton. Après 5 à 10 min de séchage, les disques d'antibiotiques ont été déposés aseptiquement sur le milieu. Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 18 à 24 heures. Enfin, les diamètres des zones d'inhibition ont été mesurés en millimètres et interprétés selon les seuils critiques établis par le CLSI. (Cintrón et al., 2025)

Tableau 05 : Profil des antibiotiques sélectionnés pour le test d'antibiogramme

Antibiotique :	Famille :	Abréviation :
<i>Amoxicilline+acide clavulanique</i>	<i>pénicilline</i>	AMC ou AMX/clav
<i>gentamicine</i>	<i>aminosides</i>	CN
<i>Imipénème</i>	<i>carbapénèmes</i>	IPN
<i>ciprofloxacin</i>	<i>Fluoroquinolones</i>	CIP

Chapitre II :

Résultats et discussion

II. Résultats et discussion :

1. Vérification de la pureté des souches :

Après l'étape de purification, les souches isolées ont présenté des colonies homogènes ayant des caractéristiques macroscopiques similaires en termes de forme, taille et couleur, ce qui confirme la pureté des isolats obtenus.

1.1. Observation macroscopique :

L'observation de la croissance bactérienne dans les milieux liquides (MRS et BN) a montré l'apparition d'un trouble homogène traduisant le développement des bactéries lactiques dans le milieu de culture, comme le montrent les figures



Figure 15 : Aspect des bactéries lactiques sur milieu liquide MRS

T: Témoin.

B : Culture microbienne



Figure16 : Aspect macroscopique des bactéries lactiques sur milieu solide MRS. **a** : *Lactobacillus spp.* **b** : *Lactococcus lactis.* **c** : *Streptococcus thermophilus.*

Tableau 06: observation macroscopique des bactéries pathogènes de référence

Les souches :	Forme :	Couleur :	surface	contours
<i>Streptococcus thermophilus</i>	circulaire	Blanche	lisse	Réguliers
<i>Lactococcus lactis</i>	circulaire	Blanche	Lisse	Réguliers
<i>Lactobacillus .spp</i>	Circulaire	Blanche	Lisse	Réguliers



Figure 17: Aspect des germes pathogènes sur milieu liquide bouillon nutritif.

T : Témoin.

S : souches bactériennes



A



C



B



D

Figure 18: Aspect macroscopique des uropathogènes sur milieu solide MacConkey et Chapman

A : *Escherichia coli*.

C : *Staphylococcus saprophyticus*.

B : *Klebsiella pneumoniae*.

D : *Proteus mirabilis*.

Tableau 07: observation macroscopique des bactéries lactiques de référence

Les souches	Forme :	Couleur :	Surface :	Conteurs :	Gram
<i>Escherichia.coli</i>	circulaire	Blancgrisatre	Lisse et briantte	réguliers	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	circulaire		Lisse ,brillante et visquese	réguliers	-
<i>Proteus mirabilis</i>	En nappes	Blancgrisatre	Lisse et humide	ondulés	-
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	circulaire	Jaune pale	Lisse et brillante	réguliers	-

1.2. Observation microscopique :

L'observation microscopique a montré que les bactéries lactiques sont des bactéries Gram positif. Elles présentent des formes variées, principalement des bacilles ou des coques, selon les espèces étudiées. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 19 et tableau08.

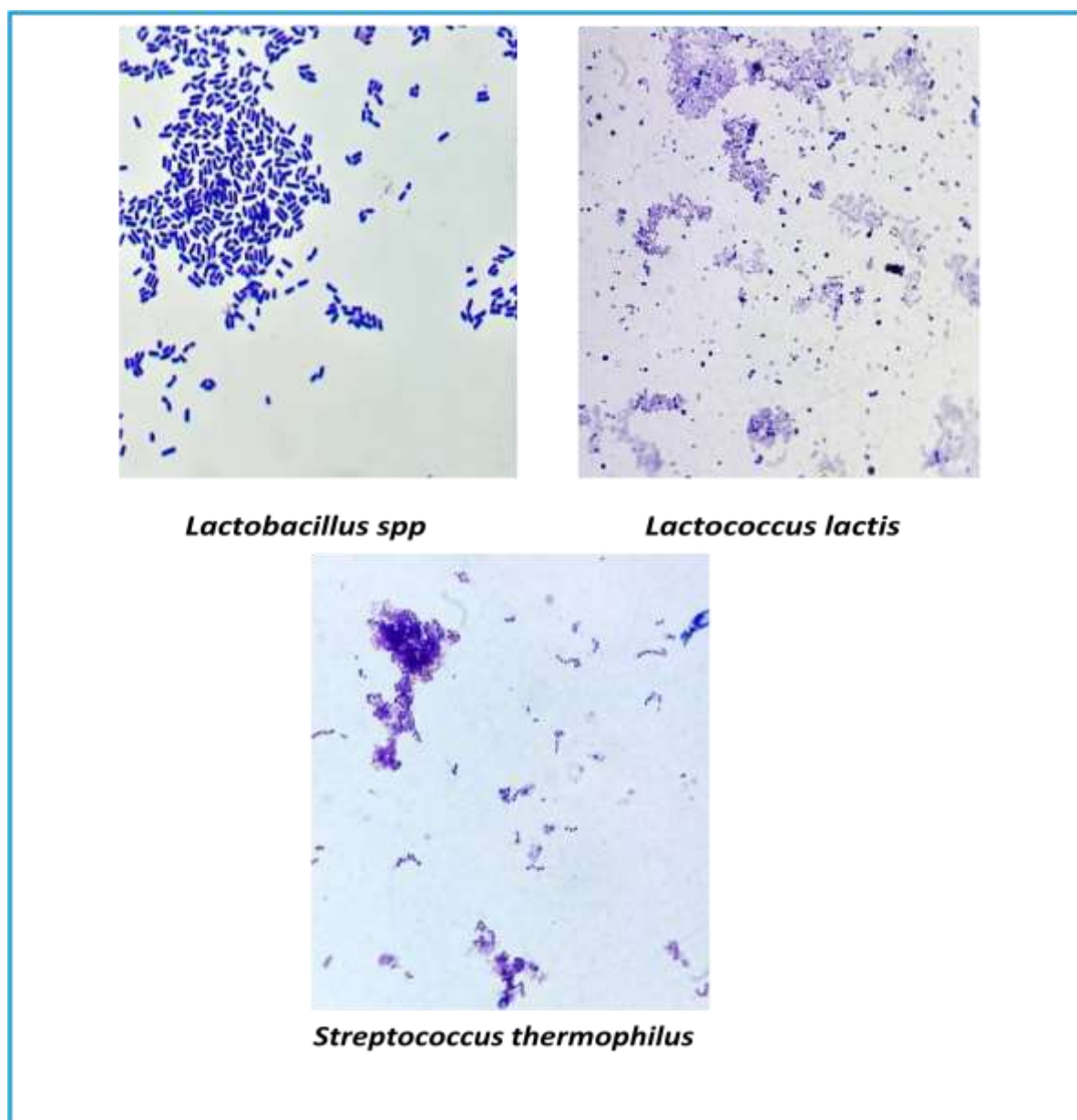


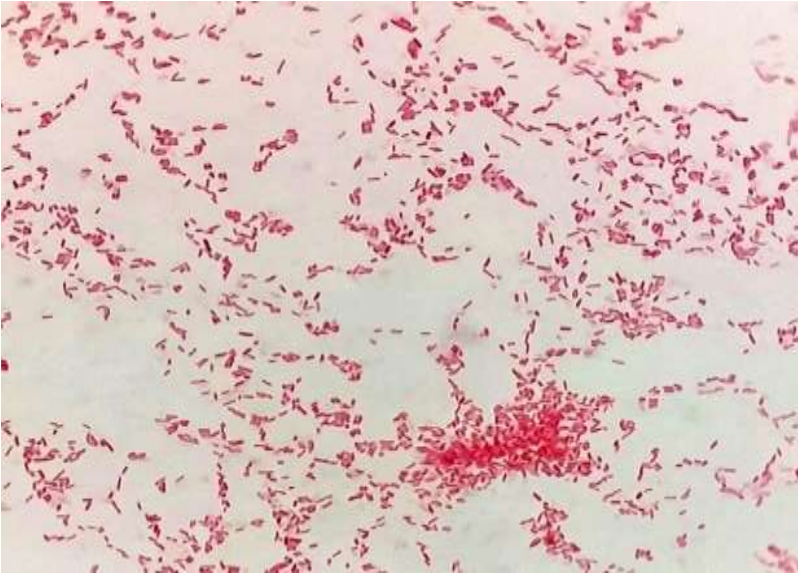
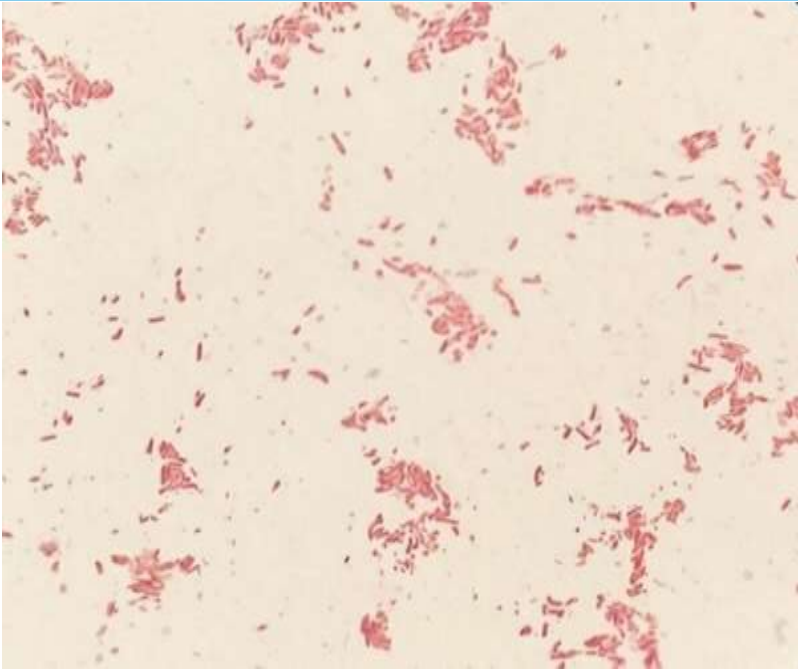
Figure 19 : Aspect microscopique des bactéries (G×100).

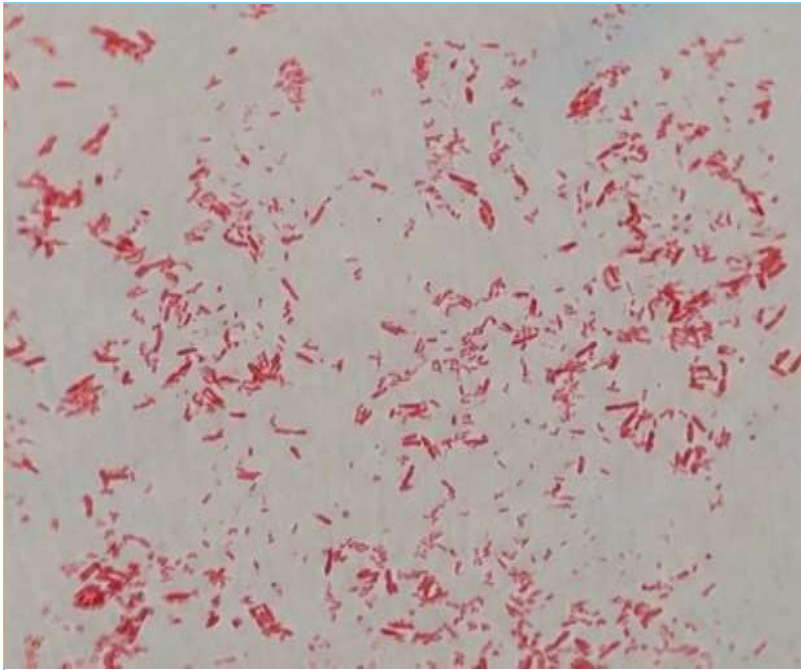
Tableau 08: Caractéristique microscopique des bactéries lactiques (LAB).

Les souches bactérienne	Gram	Forme	Disposition
<i>Lact.b</i>	+	Bacilles courts	Isolés
<i>Lact.c</i>	+	Coques	Paires
<i>Strp</i>	+	Coques	En chaînes

L'observation microscopique a montré que les bactéries pathogènes sont des bactéries Gram négatif. Elles se présentent surtout sous forme de bacilles, avec une morphologie variable selon les espèces étudiées. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 09 : Aspect microscopique des uropathogènes et leurs caractéristiques morphologiques

Les souches bactérienne	Critères microscopiques
 <i>Escherichia coli</i> ×100	Gram : Négative (-) Forme : Bacilles courts Disposition : Isolées, en paires Spoires : Non sporulée Mobilité : Mobile (flagelles) Aspect : Homogène
 <i>Klebsiella pneumoniae</i> ×100	Gram : Négative (-) Forme : Bacilles courts, trapus Disposition : Isolées, en paires Spoires : Non sporulée Mobilité : Immobile Aspect : Homogène



***Proteus mirabilis* ×100**

Gram : Négative (-)

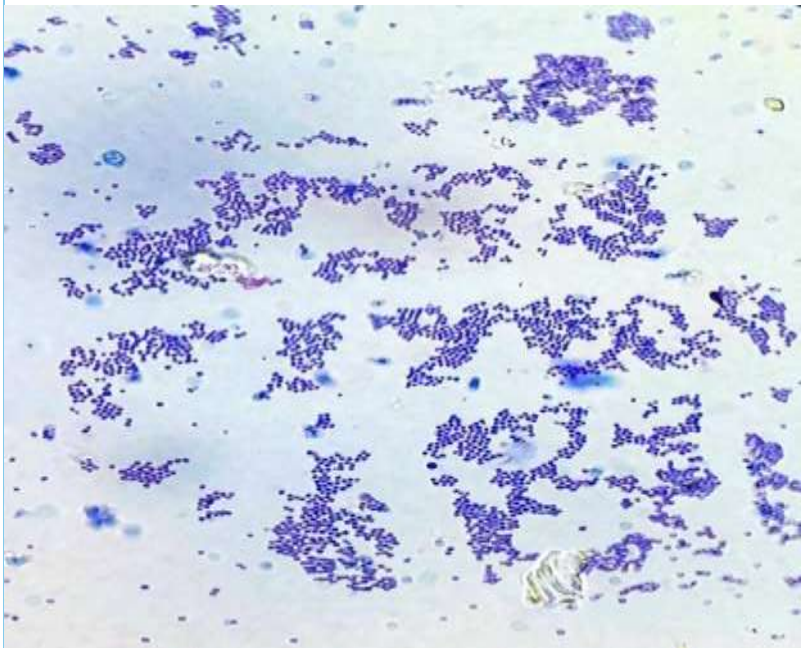
Forme : Bacilles

Disposition : Isolées

Spores : Non sporulée

Mobilité : Mobile (swarming)

Aspect : Homogène



***Staphylococcus saprophyticus* ×100**

Gram : Positive (+)

Forme : coques

Disposition : En amas irréguliers

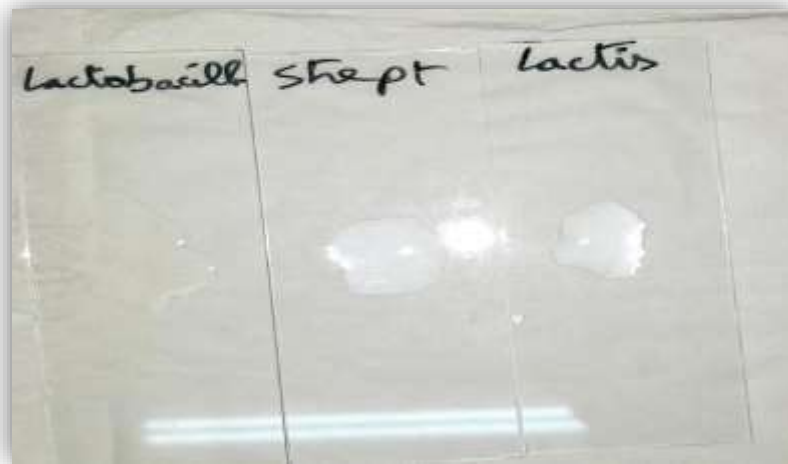
Spores : Non sporulée

Mobilité : Immobile

Aspect : Homogène

1.3. Test de catalase :

Le test de catalase effectué sur les souches lactiques a révélé une absence de dégagement gazeux après l'ajout du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), indiquant une réaction négative caractéristique des bactéries lactiques (**figure. 20**)



20: Test catalase négative

En revanche, les bactéries pathogènes ont montré une réaction positive au test de catalase, mise en évidence par un dégagement immédiat et visible de bulles de dioxygène suite à l'ajout de H_2O_2 . Cette activité catalasique traduit la capacité de ces souches à dégrader le peroxyde d'hydrogène, ce qui constitue un critère différentiel important entre les deux groupes bactériens (**figure. 21**)



Figure 22: Test catalase positive

2. Activité antimicrobienne des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes :

L'étude de l'interaction entre les bactéries lactiques et les uropathogènes a révélé une activité antagoniste variable selon les souches testées. Cette activité, évaluée par les méthodes de diffusion en puits et sur disques sur gélose MuellerHinton, témoigne du potentiel des bactéries lactiques à inhiber la croissance des germes responsables des infections urinaires par la production de diverses substances antimicrobiennes, telles que les bactériocines, les acides organiques, en particulier l'acide lactique, le peroxyde d'hydrogène et d'autres composés bioactifs.

2.1. Méthode des puits :

L'activité antagoniste de trois souches lactiques testée (*Lact.b*, *Lact.c* et *Strep*) été évaluée par la méthode de diffusion en puits sur milieu Muller-Hinton , un milieu optimisé pour favoriser la croissance des souches indicatrices cibles : (*E. coli*, *Kleb*, *Prots* et *Staph*)

Après une incubation de 24 heures à 37 °C, l'activité antimicrobienne s'est traduite par l'apparition de zones claires d'inhibition autour des puits. L'analyse des résultats démontre que l'ensemble de nos souches lactiques possède un pouvoir inhibiteur vis-à-vis des pathogènes testés. Toutefois, l'efficacité de cet antagonisme varie significativement d'une souche à l'autre, reflétant la diversité des métabolites actifs produits.

Les diamètres des zones d'inhibition (ZI) obtenus par la méthode des puits sont présentés dans le **tableau 09** et illustrés dans les **figures 22 et 23** .

Tableau 10 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes obtenus par la méthode des puits :

Souches pathogène	Diamètres	des	zones	d'inhibitions(mm)
	<i>Lact.b</i>	<i>Lact.c</i>	<i>Sterp</i>	
<i>E.coli</i>	9.75 mm	9.25 mm	8.5 mm	
<i>K.pneumoniae</i>	0 mm	2.5 mm	3.75 mm	
<i>P.mirabilis</i>	6.25 mm	8.5 mm	9.25 mm	
<i>S.saprophyticus</i>	10 mm	14.25 mm	11.25 mm	

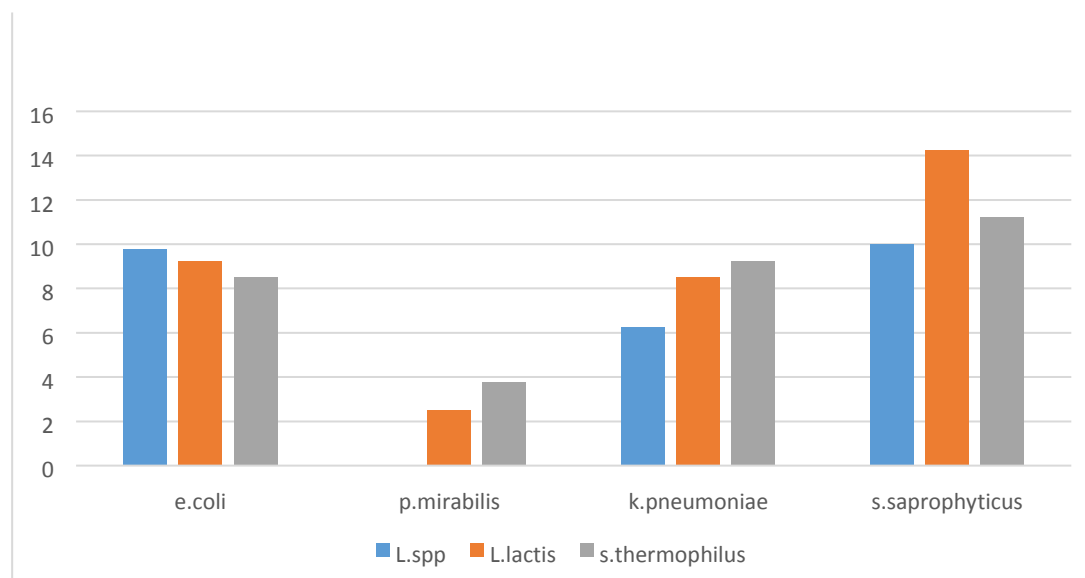


Figure22 : Activité antagoniste des bactéries lactiques contre les souches pathogènes par la méthode des puits

Les résultats obtenus mettent en évidence une activité antagoniste variable des différentes souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes testées. La plus forte activité inhibitrice a été observée avec *Lact.c* contre *Staph*, présentant un diamètre moyen de **14,25 mm**. Des zones d'inhibition également importantes ont été enregistrées pour *Strept* et *Lact.b* contre ce même pathogène, avec des diamètres respectifs de **11,25 mm** et **10 mm**.

Concernant *E. coli*, l'ensemble des souches lactiques a présenté une activité inhibitrice modérée, avec des diamètres variant entre **8,5 mm** et **9,75 mm**. En revanche, *Kleb* s'est révélée la plus résistante, avec des zones d'inhibition faibles comprises entre **0** et **3,75 mm**, tandis que *Lact.b* n'a montré aucune activité inhibitrice contre cette bactérie.

Pour *Prot*, une activité inhibitrice intermédiaire a été observée, avec des diamètres variant de **6,25** à **9,25 mm**, la valeur la plus élevée étant enregistrée pour *Strept*

Les résultats obtenus montrent une activité inhibitrice des bactéries lactiques vis-à-vis des uropathogènes testés, traduisant un potentiel antagoniste global. Dans l'ensemble, une certaine convergence avec la littérature scientifique est observée. En effet, les résultats relatifs à *E. coli* et *Prot* (**8 à 9 mm** pour *Lac.ob*) sont en accord avec ceux de **Johnson et al. (2022)**, **Shaaban et al. (2020)** et **Fusco et al. (2023)**, qui ont également rapporté une sensibilité de ces espèces aux bactéries lactiques avec des zones d'inhibition comparables, traduisant une activité antibactérienne modérée mais constante. De même, l'implication des métabolites antimicrobiens, notamment les acides organiques (acide lactique) et les bactériocines, est largement reconnue dans la littérature comme principal mécanisme d'action des bactéries lactiques.

En revanche, plusieurs différences importantes ont été observées. L'activité inhibitrice contre *Kleb* reste très faible dans notre étude (**0 à 3.75 mm**), contrairement aux résultats de **Johnson et al. (2022)** et **El Houssni et al. (2025)**, qui ont rapporté une inhibition plus marquée. Cette faible sensibilité pourrait être liée à la présence d'une capsule polysaccharidique épaisse chez *Kleb*, limitant la diffusion des substances antimicrobiennes. Par ailleurs, les valeurs obtenues pour *Lact.b* (**9,75 mm** contre *E. Coli*) restent nettement inférieures à celles rapportées par **El Houssni et al. (2025)**

(**24,12 à 33,98 mm**), ce qui peut s'expliquer par la variabilité des souches, la différence des conditions expérimentales et le potentiel métabolique des isolats utilisés.

Concernant *Lact.c*, une activité inhibitrice variable a été observée, allant de **2,5 mm** contre *K. Pneumoniae* à **14,25 mm** contre *Staphy*. Ces résultats contrastent avec ceux de **Hamdaoui et al. (2020)**, qui n'ont rapporté aucune activité inhibitrice, soulignant ainsi une forte variabilité inter-souches. Enfin, bien que *Staph* ait montré une sensibilité notable, les valeurs restent inférieures à celles rapportées par **Ahmed et al. (2024)** pour le genre *Staph*, confirmant une réponse dépendante de l'espèce et de la souche.

Dans la présente étude, *Lact.c* a montré une activité antagoniste contre *E. coli* avec une zone d'inhibition moyenne de **9,25 mm**. Cette valeur est inférieure à celles rapportées par **Soundharrajan et al. (2021)**, qui ont observé des diamètres d'inhibition de **23,6 ± 1,2 mm** et **42,0 ± 1,4 mm** contre *E. Coli* pour les souches RWP-3 et RWP-7, respectivement.

L'absence de travaux utilisant *Strep* contre les uropathogènes testés dans les mêmes conditions expérimentales limite les possibilités de comparaison directe. Néanmoins, l'activité antagoniste observée dans notre étude suggère que cette souche possède un potentiel inhibiteur vis-à-vis des bactéries pathogènes, probablement lié à la production d'acides organiques et d'autres métabolites antimicrobiens.

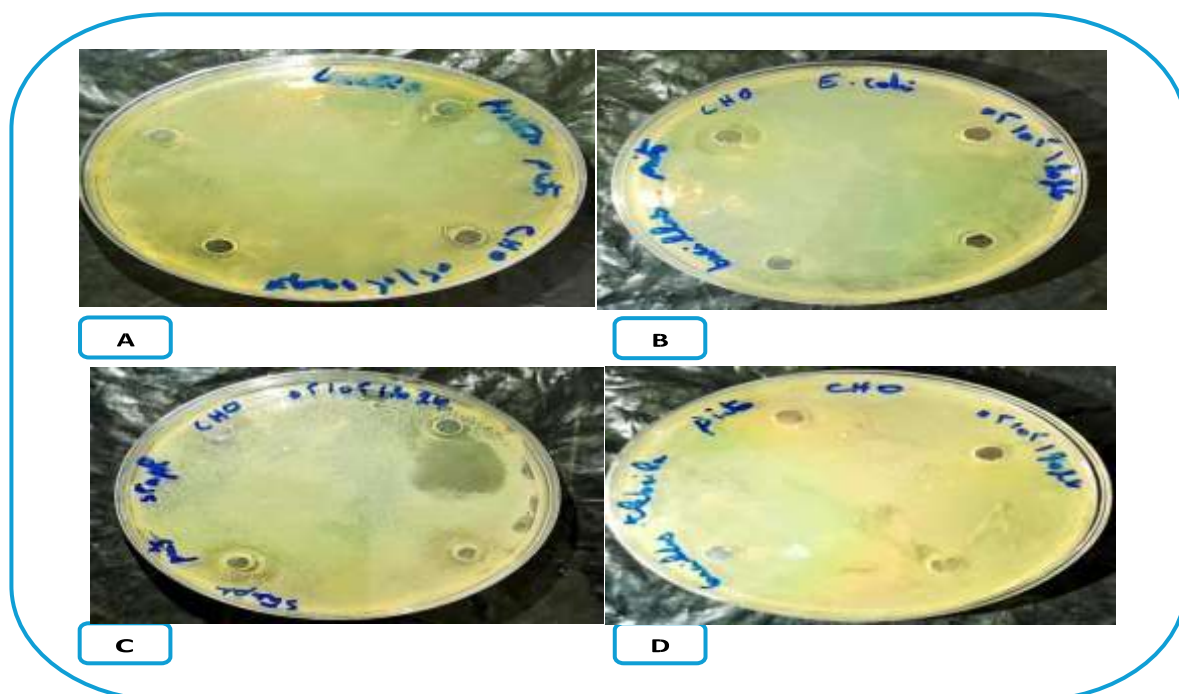


Figure 23: Résultats antagoniste des bactéries lactiques contre les souches indicatrices par la méthode des puits.

A : *Proteus mirabilis*. **B :** *Escherichia coli*. **C :** *Staphylococcus saprophyticus*.
D : *Klebsiella pneumoniae*.

2.2. Méthode de diffusion sur disques :

Cette partie est consacrée à l'évaluation du pouvoir antimicrobien de trois souches de bactéries lactiques bacillaires par la méthode de diffusion sur disques (Whatman n°1, 6 mm de diamètre) vis-à-vis de quatre bactéries uropathogènes responsables des infections des voies urinaires. Les essais ont été réalisés en triplicat pour chaque souche testée, et les diamètres moyens des zones d'inhibition ont été calculés afin d'apprécier l'activité antagoniste des souches lactiques étudiées.

Les résultats de l'activité antagoniste des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes, évaluée par la méthode des disques, sont présentés dans le tableau et figure 26

Globalement, la plus grande activité inhibitrice a été enregistrée par la souche **Lact.b** contre **Kleb** avec un diamètre moyen de **9,5 mm**, indiquant l'effet antagoniste le plus marqué parmi les combinaisons testées. Des valeurs élevées (**9 mm**) ont également été observées pour **Lact.b** contre *Escherichia coli* ainsi que pour **L. Lactis** contre **Prot** .

En revanche, la plus faible zone d'inhibition a été observée pour **Lact.c** vis-à-vis de **Staph**, avec un diamètre moyen de **7 mm**, ce qui suggère une sensibilité plus faible de cette souche pathogène aux substances antimicrobiennes produites.

Tableau11: Diamètres des zones d'inhibition (mm) des souches lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes obtenus par la méthode de diffusion sur disques :

Souches pathogènes	Diamètres des Zones d'inhibition		
	Lact.b	Lact.c	Strep
E.coli	9 mm	8.75 mm	8.25 mm
P.mirabilis	8 mm	9 mm	8.75 mm
K.pneumoniae	9.5 mm	9.25 mm	8.75 mm
S.saprophyticus	7.75 mm	7 mm	7.25 mm

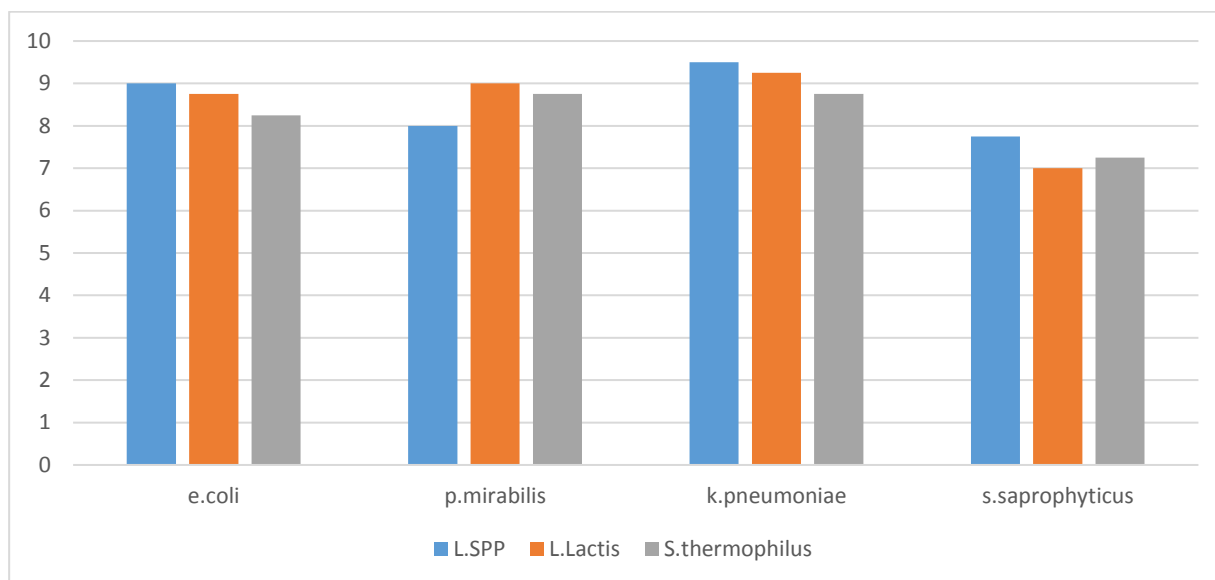


Figure 24: Diamètres des zones d'inhibition des bactéries lactiques vis-à-vis des souches pathogènes par la méthode de diffusion sur disque

Les résultats obtenus dans notre étude montrent une activité antagoniste modérée des bactéries lactiques vis-à-vis des souches pathogènes testées. Pour *E.coli*, *Lact.b*.

A présenté une zone d'inhibition de **9 mm**, valeur proche de celle rapportée par **Belazzoug et Lalami (2024)**, qui ont observé un diamètre de 10 mm. En revanche, concernant *Kleb*, nos résultats (**8,5 mm** pour *Lact.b*. Et **8,25 mm** pour *Lact.c*) sont nettement inférieurs à ceux rapportés par ces mêmes auteurs, dont les diamètres des zones d'inhibition variaient entre **36** et **58 mm**. Concernant *Prot*, notre souche de *Lact.b* a montré une activité antagoniste avec une zone d'inhibition de **8 mm**. Cette valeur est inférieure à celles rapportées par **Haidra et Benallou (2023)** pour les souches S109 (*Lactobacillus fermentum*), S110 (*Lactobacillus plantarum*) et S112 (*Lactobacillus fermentum*), qui ont présenté respectivement des halos d'inhibition de **15 mm**, **12 mm** et **10 mm**. En revanche, notre résultat est légèrement supérieur à celui observé pour la souche S102 (*L. Plantarum*) (**6 mm**) et supérieur aux souches S108 (*L. Fermentum*) et S111 (*L. Plantarum*), qui n'ont montré aucune activité inhibitrice.

L'absence de travaux utilisant *Strept* contre les uropathogènes testés dans les mêmes conditions expérimentales limite les possibilités de comparaison directe. Néanmoins, l'activité antagoniste observée dans notre étude suggère que cette souche possède un potentiel inhibiteur vis-à-vis des bactéries pathogènes, probablement lié à la production d'acides organiques et d'autres métabolites antimicrobiens.

Enfin, la souche de *Lact.c* a également manifesté une activité antagoniste avec une zone d'inhibition de 9 mm contre ce même pathogène. Nos résultats, obtenus par la méthode des disques, sont en accord avec les travaux de **Goyal et al. (2018)**, qui ont mis en évidence la capacité de *Lact.c* (souche 63) à synthétiser une bactériocine de type nisine possédant une activité inhibitrice à large spectre, dirigée contre diverses entérobactéries pathogènes, dont le genre *Proteus*.

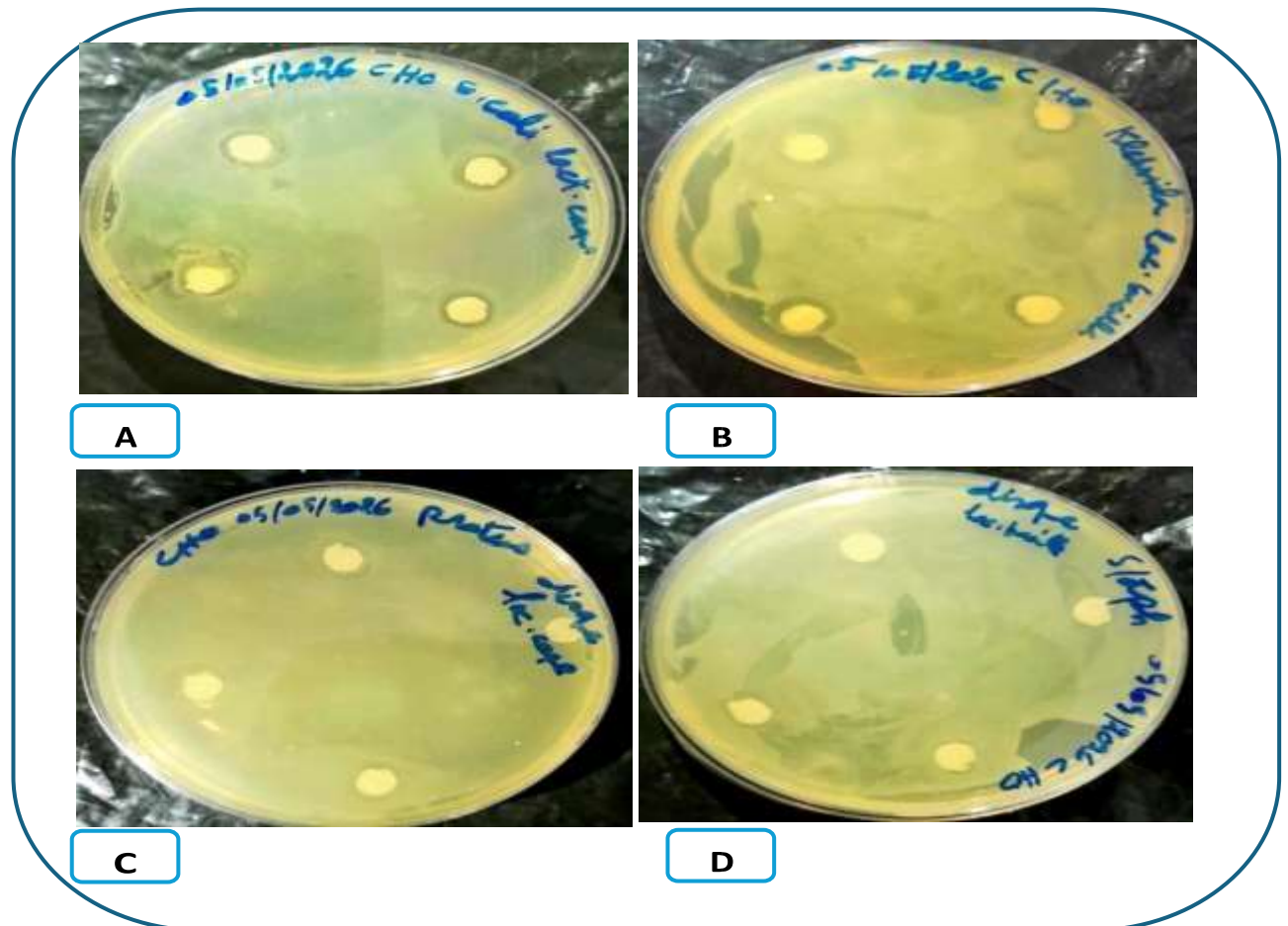


Figure 25 : Résultats antagoniste des bactéries lactiques contre les souches indicatrices par la méthode de diffusion sur disques.

A : *Escherichia coli*. **B :** *Klebsiella pneumoniae*. **C :** *Proteus mirabilis*. **D :** *Staphylococcus saprophyticus*

3.Comparaison des performances des deux méthodes :

L'activité antagoniste a été plus marquée avec la méthode des puits qu'avec la méthode de diffusion sur disque. Elle a permis de mieux mettre en évidence le pouvoir inhibiteur des bactéries lactiques sur les souches pathogènes. La diffusion sur disque, en revanche, n'a mis en évidence qu'une activité inhibitrice assez modérée, tout en confirmant l'effet antagoniste des bactéries lactiques.

4. Résultats de l'antibiogramme :

Les résultats de l'antibiogramme des souches pathogènes sont présentés dans le **tableau 11** et la **figure 27**

Nous remarquons que la souche *E.coli* a présenté une bonne zone d'inhibition vis-à-vis de la *CIP* avec un diamètre de **40 mm**. Un diamètre de **17 mm** a été enregistré avec la Gentamicine, alors qu'aucune zone d'inhibition n'a été observée pour l'*IPN* et l'*AMC*.

La souche *Kleb* a présenté un diamètre de **25 mm** avec la Gentamicine, tandis que des diamètres de **10 mm** ont été observés avec la Ciprofloxacin et l'*AMC*. Aucun effet inhibiteur n'a été enregistré avec l'*IPN*.

Concernant *Prot*, une zone d'inhibition importante de **26 mm** a été observée avec la *CIP*, alors qu'un diamètre de **14 mm** a été obtenu avec la *CN*.

Aucune zone d'inhibition n'a été enregistrée pour l'*IPN* et l'*AMC*.

Pour *Staph* les diamètres des zones d'inhibition étaient de **25 mm** avec la Ciprofloxacin et de **16 mm** avec la *CN*. En revanche, aucune zone d'inhibition n'a été observée avec l'*IPN* et l'*AMC*.

Dans l'ensemble, la *CIP* apparaît comme l'antibiotique le plus actif contre les souches pathogènes testées, alors que l'*IPN* n'a révélé aucune activité inhibitrice dans les conditions de l'étude.

En comparant nos données avec l'étude épidémiologique *d'Ait Ferhat et Ameziane*,

Nous observons une concordance concernant la forte sensibilité des uropathogènes à la Ciprofloxacin ainsi qu'à la *CN*. En effet, ces auteurs rapportent seulement **10 %** de résistance à la Ciprofloxacin chez les isolats d'*E. coli* et une efficacité de **100 %** de la Gentamicine sur les souches de *Klebsiella sp.* Par ailleurs, la forte résistance observée dans notre étude vis-à-vis de l'Amoxicilline–Acide clavulanique est en accord avec la tendance croissante de résistance aux bêta-lactamines décrite dans leur travail. De même, la résistance globale observée chez notre souche de *Staph* confirme leurs observations concernant la résistance importante de cette

espèce aux pénicillines. Toutefois, nos résultats diffèrent pour l'**IPN**, qui n'a montré aucune activité sur nos isolats, alors que cette molécule est décrite dans leur étude comme très efficace contre les entérobactéries. Cette divergence pourrait être liée à des différences entre les souches étudiées, aux conditions expérimentales ou à l'émergence de mécanismes de résistance spécifiques.

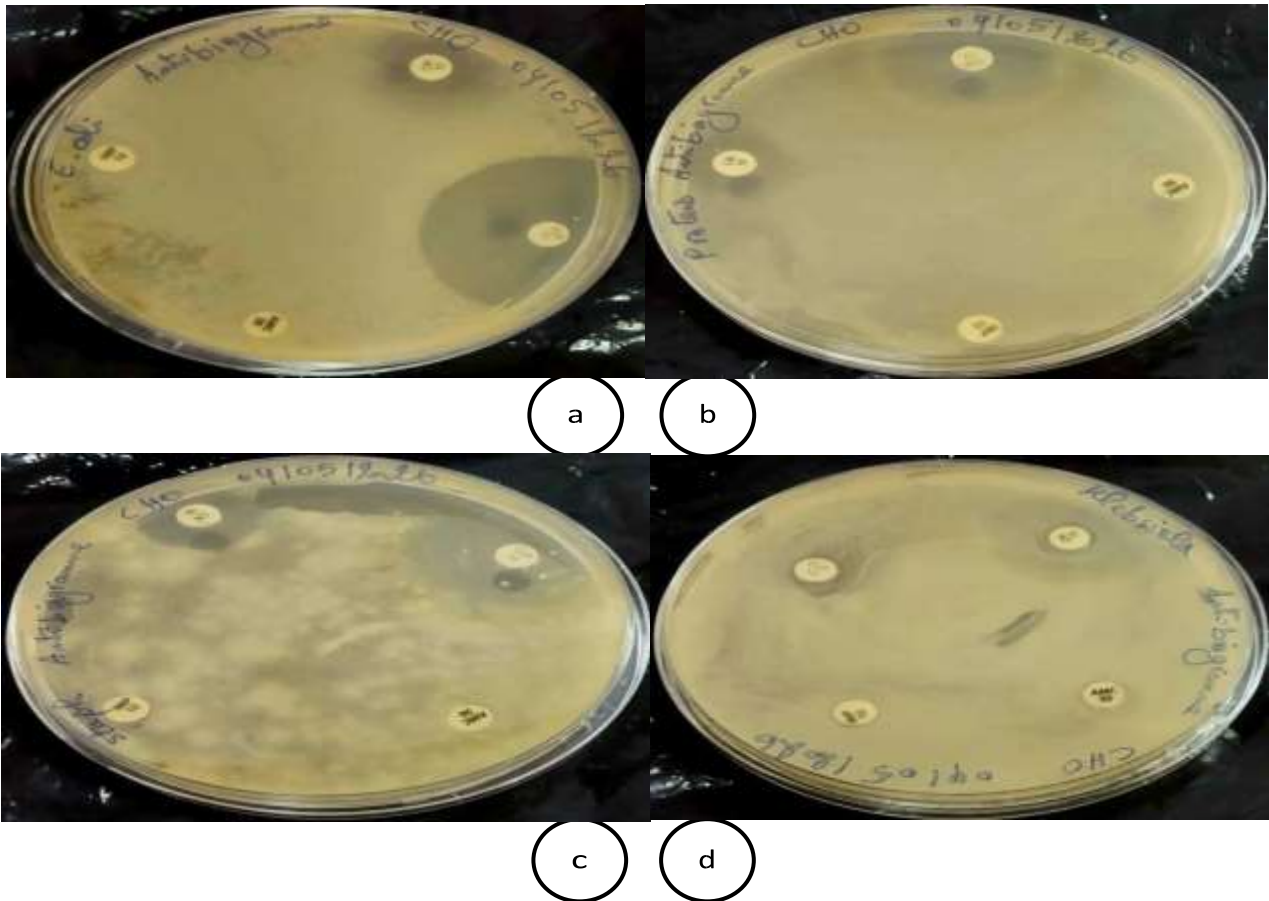


Figure 26: Résultats d'antibiogramme sur les bactéries pathogène
a : *Escherichia coli*. **b :** *Proteus mirabilis*. **c :** *Staphylococcus saprophyticus*.
d : *Klebsiella pneumoniae*.

Tableau12 : Sensibilité des bactéries pathogènes aux antibiotiques testés, exprimée par les diamètres des zones d'inhibition (mm).

Les souches	Diamètre		des		zones		d'inhibitions	
<i>E.coli</i>	CIP	40 mm	CN	17 mm	IMC	0 mm	AMC	0 mm
<i>K.pneumoniae</i>	CIP	10 mm	CN	25 mm	IMC	0 mm	AMC	10 mm
<i>P.mirabilis</i>	CIP	26 mm	CN	14 mm	IMC	0 mm	AMC	0 mm
<i>S.saprophyticus</i>	CIP	25 mm	CN	16 mm	IMC	0 mm	AMC	0 mm

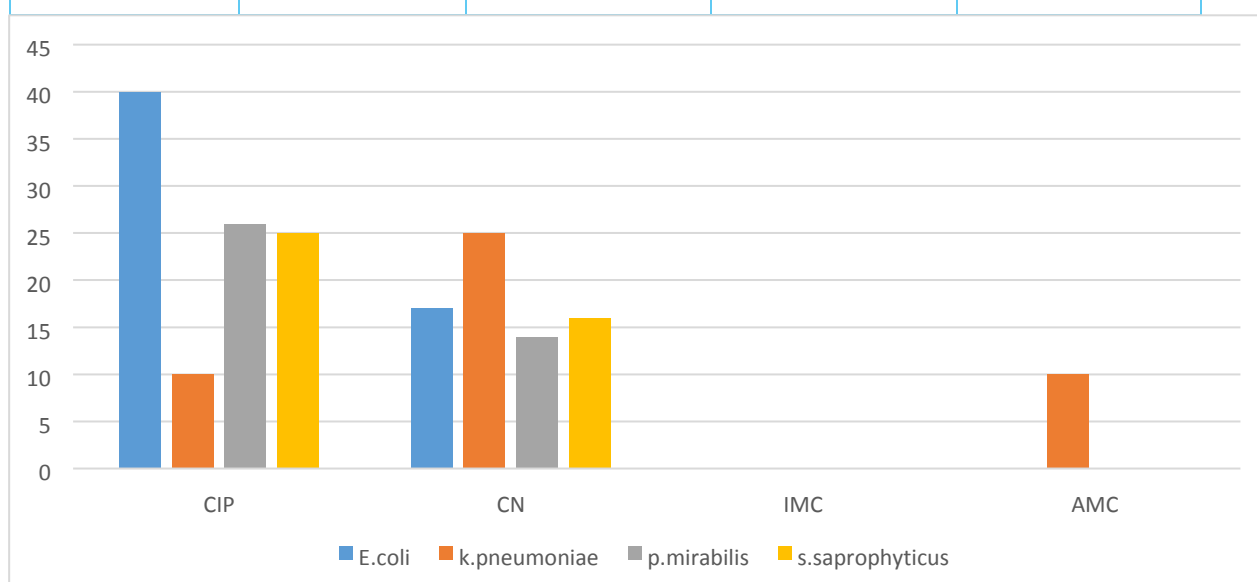


Figure 27 : Antibiotogramme comparative de quatre espèces bactériennes uropathogènes

CONCLUSION :

L'augmentation de la résistance bactérienne aux antibiotiques constitue un problème majeur de santé publique, particulièrement dans le traitement des infections urinaires. Dans ce contexte, la présente étude a permis d'évaluer l'activité antagoniste de bactéries lactiques vis-à-vis de plusieurs uropathogènes, notamment *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis* et *Staphylococcus saprophyticus*.

Les résultats obtenus ont montré que les souches lactiques testées exercent une activité inhibitrice variable mais significative contre les bactéries pathogènes étudiées. Cette activité pourrait être liée à la production de métabolites antimicrobiens tels que les acides organiques, le peroxyde d'hydrogène et les bactériocines. Par ailleurs, les profils de résistance observés lors de l'antibiogramme confirment la nécessité de rechercher des approches complémentaires aux traitements conventionnels.

Ainsi, les bactéries lactiques présentent un potentiel intéressant comme agents biologiques capables de contribuer à la prévention ou à la limitation de la colonisation des voies urinaires par les uropathogènes.

Perspectives :

Identifier les souches lactiques les plus performantes par des méthodes moléculaires (PCR ou séquençage).

Purifier et caractériser les composés antimicrobiens produits, notamment les bactériocines.

Étudier leur stabilité et leur mode d'action.

-Réaliser des tests d'adhérence sur cellules épithéliales urinaires afin d'évaluer leur capacité à empêcher la fixation des bactéries pathogènes.

Références bibliographiques

Abedi, E., & Hashemi, S. M. B. (2020). Lactic acid production – producing microorganisms and substrates sources-state of art. *Heliyon*, 6(10), e04974. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04974>

Adeiza, D. Z., Olateju, K. S., Kizito, B., Audu, G., Anoze, A. A., Muhammed, A. A., Olojemarin, O. C., Olubunmi, E. M., Zakari, D. A., Aliyu, A. A., Osazuwa, C., Bello, K., Emurotu, M. O., Sarafadeen, K., & Marvelous, E. (2024). Hurdle concept and the role of lactic acid bacteria. *Nutrition and Food Processing*, 6(4), 1-7. <https://doi.org/10.31579/2637-8914/248>

Ait Ferhat, L., & Ameziane, A. (2023). Résistance aux antibiotiques des bactéries impliquées dans les infections urinaires (Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master). Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie

Abdelhalim, M. M., Saafan, G. S., El-Sayed, H. S., & Ghaith, D. M. (2022). In vitro antibacterial effect of probiotics against carbapenemase-producing multidrug-resistant *Klebsiella pneumoniae* clinical isolates, Cairo, Egypt. *Journal of the Egyptian Public Health Association*, 97, Article 19. <https://doi.org/10.1186/s42506-022-00114-4>

Ahmed, M., Mikru, A., Adane, M., & Sileshi, H. (2024). Isolation of lactic acid bacteria from camel milk and in vitro assessment of their antagonism against selected foodborne pathogenic bacteria. *Food Protection Trends*, 44(2), 80–94. <https://doi.org/10.4315/FPT23019>

Akpogheli, P. O., Edo, G. I., Ali, A. B. M., Yousif, E., Zainulabdeen, K., Owheruo, J. O., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Essaghah, A. E. A., Makia, R. S., Ahmed, D. S., Umar, H., & Alamiery, A. A. (2025). Lactic acid bacteria: Nature, characterization, mode of action, products and applications. *Process Biochemistry*, 152, 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2025.02.010>

Anta Kacaribu, A., & Darwin, D. (2024). Biotechnological lactic acid production from low-cost renewable sources via anaerobic microbial processes. *BioTechnologia*, 105(2), 179–194. <https://doi.org/10.5114/bta.2024.139757>

Ashurst JV, Dawson A. *Klebsiella pneumoniae*. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island

Ayed, L., M'hir, S., Nuzzolese, D., Di Cagno, R., & Filannino, P. (2024). Harnessing the Health and Techno-Functional Potential of Lactic Acid Bacteria: A Comprehensive Review. *Foods*, *13*(10), 1538. <https://doi.org/10.3390/foods13101538>

Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Claro da Silva, R., & Ibrahim, S. A. (2020). Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, *10*(3), 15. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>

Aguirre-García, Y. L., Nery-Flores, S. D., Campos-Múzquiz, L. G., Flores-Gallegos, A. C., Palomo-Ligas, L., Ascacio-Valdés, J. A., Sepúlveda-Torres, L., & RodríguezHerrera, R. (2024). Lactic Acid Fermentation in the Food Industry and BioPreservation of Food. *Fermentation*, *10*(3), 168. <https://doi.org/10.3390/fermentation10030168>

Bahrami, S., Andishmand, H., Pilevar, Z., Hashempour-baltork, F., Torbati, M., Dadgarnejad, M., Rastegar, H., Mohammadi, S. A., & Azadmard-Damirchi, S. (2024). Innovative perspectives on bacteriocins: advances in classification, synthesis, mode of action, and food industry applications. *Journal of Applied Microbiology*, *135*(11), 1xae274. <https://doi.org/10.1093/jambio/1xae274>

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibensouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, *6*(2), 71–79.

Belarbi, F. (2011). Isolement et sélection des souches de bactéries lactiques productrices des métabolites antibactériennes (Mémoire de Magister). Université d'Oran Es-Sénia, Algérie. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13373.82405>

Benhouana, N. (2019). Étude des bactéries lactiques et de leurs activités biologiques. Université de Blida, Algérie

Belazzoug, N. E. H., & Lalami, W. (2024). Étude des interactions entre des bactéries lactiques et des souches pathogènes : évaluation in vitro des effets bactériocinogènes (Mémoire de master). Université de Bordj Bou Arreridj, Algérie.

Bolzonella, I., Roulette, P., Brierrre, T., Castel-Lacanal, E., Soulié, M., & Gamé, X.

(2024). Prospective study of the epidemiology of urinary tract infections at short term and mid-term after initiation of intermittent self-catheterisation. The French Journal of Urology (Le Progrès en Urologie), 34, 102638.

Candeliere, F., Sola, L., Busi, E., Rossi, M., Amaretti, A., & Raimondi, S. (2024). The Metabolism of *Leuconostoc* Genus Decoded by Comparative Genomics. Microorganisms, 12(7), 1487. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12071487>

Cintrón, M., Clark, B., Miranda, E., Delgado, M., & Babady, N. E. (2025). Development and evaluation of a direct disk diffusion, rapid antimicrobial susceptibility testing method from blood culture positive for Gram-negative bacilli using rapid molecular testing and microbiology laboratory automation. Microbiology Spectrum. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02401-24>

Chakkour, M., Hammoud, Z., Farhat, S., El Roz, A., Ezzeddine, Z., & Ghssein, G. (2024). Overview of *Proteus mirabilis* pathogenicity and virulence: Insights into the role of metals. Frontiers in Microbiology, 15, Article 1383618. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383618>

Coker, C., Poore, C. A., Li, X., & Mobley, H. L. T. (2000). Pathogenesis of *Proteus mirabilis* urinary tract infection. Microbes and Infection, 2(12), 1497–1505. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)01304-6](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)01304-6)

Dempsey, E., & Corr, S. C. (2022). *Lactobacillus spp.* For gastrointestinal health: Current and future perspectives. Frontiers in Immunology, 13, 840245. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.840245>

De Vos, P., Garrity, G., Jones, D., Krieg, N.R., Ludwig, W., Rainey, F.A., Schleifer, K.H. and Whitman, W.B. (2009). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume 3: The Firmicutes. Springer Science & Business Media.

Dortu, C., & Thonart, P. (2009). Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement (BASE), 13(1), 143-154. <https://popups.uliege.be/17804507/index.php?id=5454>

El Houssni, I., Zahidi, A., Soubai, Z., Ziyate, N., Khedid, K., & Hassikou, R. (2025). Protein profiling by MALDI-TOF spectrometry and probiotic properties of endophytic lactic

acid bacteria and yeasts from durum, soft, and red wheat landraces. *Applied Food Research*, 5, 101485. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101485>

Elsevier Holzapfel, W. H., & Wood, B. J. B. (2014). Lactic Acid Bacteria: Biodiversity and Taxonomy. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118655252>

Essen, M. (2023). Les infections urinaires à l'officine : état des lieux et perspectives [Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie]. Université Clermont Auvergne, UFR de Pharmacie. [HAL Id: dumas-04394259](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04394259).

Fusco, A., Savio, V., Chiaromonte, A., Alfano, A., D'Ambrosio, S., Cimini, D., & Donnarumma, G. (2023). Evaluation of different activity of *Lactobacillus* spp. against two *Proteus mirabilis* isolated clinical strains in different anatomical sites in vitro: An explorative study to improve the therapeutic approach. *Microorganisms*, 11(9), Article 2201. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092201>

Flores-Mireles, A. L., Walker, J. N., Caparon, M., & Hultgren, S. J. (2015). Urinary tract infections: Epidemiology, mechanisms of infection and treatment options. *Nature Reviews Microbiology*, 13(5), 269–284.

Foxman, B. (2010). The epidemiology of urinary tract infection. *Nature Reviews Urology*, 7(12), 653–660.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & World Health Organization (WHO). (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food.

Gebremedhin, A. T., Tessema, G. A., Srinivasjois, R., Daire, J. A., Chai, K. E. K., Duko, B., Mruts, K. B., & Pereira, G. (2025). Indirect evidence of sex-selective abortion practices to the imbalanced sex ratio at birth in Australian migrant populations. *PLOS Global Public Health*, 5(5), e0004672. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0004672>

Ghailan, A. Z., & Niamah, A. K. (2025). *Streptococcus thermophilus*: Metabolic properties, functional features, and useful applications. *Applied Microbiology*, 5(4), 101. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol5040101>

Guillard, T., & Lartigue, M.-F. (2019). Infections urinaires. Société Française de Microbiologie(SFM). [https://www.sfm-microbiologie.org/wpcontent/uploads/2019/07/BACTERIE Infections-urinaires.pdf](https://www.sfm-microbiologie.org/wpcontent/uploads/2019/07/BACTERIE-Infections-urinaires.pdf)

Gupta, P. L., Rajput, M., Oza, T., Trivedi, U., & Sanghvi, G. (2019). Eminence of Microbial Products in Cosmetic Industry. *Natural Products and Bioprospecting*, 9(4), 267–278. <https://doi.org/10.1007/s13659-019-0215-0>

GMBANK. *Proteus mirabilis* (GMB1382). Jeonbuk National University Medical School, Microbiological Laboratory. Disponible sur : <https://www.gmbank.org/product-page/gmb1382>. Consulté le 28 juin 2026

GMBank. *Leuconostoc* – Gram stain image. Disponible sur : <https://www.gmbank.org/product-page/jbs15-03901> (consulté le 28 juin 2026).

Goyal, C., Malik, R. K., & Pradhan, D. (2018). Purification and characterization of a broad spectrum bacteriocin produced by a selected *Lactococcus lactis* strain 63 isolated from Indian dairy products. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3683–3692. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3298-4> (<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3298-4>)

Hamdaoui, N., Benkirane, C., Bouaamali, H., Azghar, A., Mouncif, M., Maleb, A., Hammouti, B., Al-Anazi, K. M., Kumar, P., Yadav, K. K., Choi, J. R., & Meziane, M. (2024). Investigating lactic acid bacteria genus *Lactococcus lactis* properties: Antioxidant activity, antibiotic resistance, and antibacterial activity against multidrug-resistant bacteria *Staphylococcus aureus*. *Heliyon*, 10(10), e31957. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31957>

Hammes, W. P., & Hertel, C. (2009). The genera *Lactobacillus* and *Carnobacterium*. In F. De Vos, P. Garrity, D. Jones, N. R. Krieg, W. Ludwig, F. A. Rainey, K.-H. Schleifer, & W. B. Whitman (Eds.), *The prokaryotes* (pp. 320–403). Springer.

Hadwan, M. H., Hussein, M. J., Mohammed, R. M., Hadwan, A. M., Al-Kawaz, H. S., AIObaidy, S. S. M., & Al Talebi, Z. A. (2024). An improved method for measuring catalase activity in biological samples. *Biology Methods and Protocols*, 9(1), bpae015. <https://doi.org/10.1093/biomethods/bpae015>

Haidra, M., & Benallou, H. (2023). L'effet antagonisme des bactéries lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes responsables des infections urinaires (Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Algérie).

Holzappel, W. H., & Schillinger, U. (2002). Introduction to pre- and probiotics. *Food Research International*, 35(2-3), 109–116.

Ilkkan, Ö. K. (2025). *Lactobacillomics* as a new notion in lactic acid bacteria research through omics integration. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41, 68. <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04285-y>

Isnard, C. (2015). *Journal des Anti-infectieux*, 17(4),152161. <https://doi.org/10.1016/j.antinf.2015.10.002>

Jalil, M. B., & Al Atbee, M. Y. N. (2022). The prevalence of multiple drug resistance *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* isolated from patients with urinary tract infections. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 36(9), 24619. <https://doi.org/10.1002/jcla.24619>

Jiang, S., Cai, L., Lv, L., & Li, L. (2021). *Pediococcus pentosaceus*, a future additive or probiotic candidate. *Microbial Cell Factories*, 20(1),45. [https://doi.org/10.1186/s12934-](https://doi.org/10.1186/s12934-021-01537-)
[021-01537](https://doi.org/10.1186/s12934-021-01537-)

Johnson, J. A., Delaney, L. F., Ojha, V., Rudraraju, M., Hintze, K. R., Siddiqui, N. Y., & Sysoeva, T. A. (2022). Commensal urinary lactobacilli inhibit major uropathogens in vitro with heterogeneity at species and strain level. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, Article 870603. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.870603>

Kiiv, D., Vasylyuk, S., & Lubenets, V. (2024). Lactic acid: Industrial synthesis, microorganisms-producers and substrates: A review. *Chemistry & Chemical Technology*, 18(2), 157–169. <https://doi.org/10.23939/chcht18.02.157>

Kim, J., Kim, Y. M., Lebaka, V. R., & Wee, Y. J. (2022). Lactic Acid for Green Chemical Industry: Recent Advances in and Future Prospects for Production Technology, Recovery, and Applications. *Fermentation*, 8(11), 609. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110609>

Khanghahi, M. Y., Strafella, S., Filannino, P., Minervini, F., & Crecchio, C. (2024). Importance of lactic acid bacteria as an emerging group of plant growth-promoting rhizobacteria in sustainable agroecosystems. *Applied Sciences*, 14(5), 1798. <https://doi.org/10.3390/app14051798>

Kulkarni, M. B., Deshmukh, S. S., Agiwale, S. M., & Awandkar, S. P. (2019). Antibigram of Pathogens from Nasal Affections in Equine. *Intas Polivet*, 20(2), 385–389

Lai, R., Qu, F., Ju, M., Xie, C., Qian, H., Xia, T., Wang, C., Yu, G., Tang, Y., Bai, X., & Hou, Q. (2025). Review on synthesis of lactic acid and lactates from biomass derived carbohydrates via chemocatalysis routes. *Bioresource Technology*, 419, Article 132031. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.132031>

Latreche, B., Bendjama, E., Loucif, L., Sanah, I., Messaoudi, M., Bensouici, C., Djeghim, F., Kerbab, K., Rolain, J.-M., D'Elia, M., Rastrelli, L., & Becila, S. (2025). Unveiling the potential of lactic acid bacteria from Algerian dromedary camel milk: Diversity, technological applications, and antimicrobial insights. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1647344. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.164734>

Lavermicocca, P., Reguant, C., & Bautista-Gallego, J. (2021). Editorial: Lactic acid bacteria within the food industry: What is new on their technological and functional role. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 711013. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.711013>

Leber, A. L. (2016). *Clinical microbiology procedures handbook* (4th ed.). Washington, DC: ASM Press.

Luo, Y., Liao, H., Huang, X., Zhang, C., Gao, L., Wang, Z., & Xia, X. (2024). Unraveling the metabolic behavior and interspecific interaction pattern of lactic acid bacteria within Chinese rice wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(26), 14899–14911. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c02461>

MacFaddin, J. F. (2000). *Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria* (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins (p. 363-7).

Ma, X. (2024). Heavy metals remediation through lactic acid bacteria: Current status and future prospects. *Science of The Total Environment*, 946, 174455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174455>

Mani-López, E., Mejía-Garibay, B., Hernández-Figueroa, R. H., & López-Malo, A. (2026). Phenyllactic Acid from Lactic Acid Bacteria: A Natural Antimicrobial for Food Biopreservation. *Fermentation*, 12(4), 184. <https://doi.org/10.3390/fermentation12040184>

Manzoor, A., Ul-Haq, I., Baig, S., Qazi, J. I., & Seratlic, S. (2016). Efficacy of locally isolated lactic acid bacteria against antibiotic-resistant uropathogens. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 9(1), e18952. <https://doi.org/10.5812/jjm.18952>

Mancuso, G., Midiri, A., Gerace, E., Marra, M., Zummo, S., & Biondo, C. (2023). Urinary Tract Infections: The Current Scenario and Future Prospects. *Pathogens*, 12(4), <https://doi.org/10.3390>

Medina, L. M., & Pérez-Rodríguez, F. (2025). Lactic Acid Bacteria: An Inexhaustible Source of Scientific Knowledge and Food Innovation. *Foods*, 14(5), 858. <https://doi.org/10.3390/foods14050858>

Michel, H., Behr, J., Harrenga, A., & Kannt, A. (1998). Cytochrome c oxidase: structure and spectroscopy. *Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure*, 27(1), 32956. **Mimoune Reffai, Y., & Fechtali, T. (2025).** A Critical Review on the Role of Lactic Acid Bacteria in Sourdough Nutritional Quality: Mechanisms, Potential, and Challenges. *Applied Microbiology*, 5(3), 74. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol5030074>

Microbiology in Pictures. E. coli Gram-stain and cell morphology. Disponible sur : Microbiology in Pictures – E. coli Gram stain. Consulté le 28 juin 2026.

Minervini, F. (2011). Lactic Acid Bacteria | *Lactobacillus* spp.: *Lactobacillus casei* Group. *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd ed.), 96–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00261-2>

Mofredj, A., Bahloul, H., & Chanut, C. (2007). *Lactococcus lactis* : un pathogène opportuniste ? [*Lactococcus lactis*: an opportunistic bacterium?]. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 37(4), 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2007.01.005>

Murata, R., Shim, Y. Y., Kim, Y. J., Reaney, M. J. T., & Tse, T. J. (2025). Exploring lactic acid bacteria in food, human health, and agriculture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(32), 8122–8148. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2493236>

Nazzaro, F., Coppola, F., Fratianni, F., & Coppola, R. (2026). Fatty acids as prebiotics and their role in antibiofilm activity. *Antibiotics*, 15(1), 57. <https://doi.org/10.3390/antibiotics15010057>

Ojo, A. O., & de Smidt, O. (2023). Lactic acid: A comprehensive review of production to purification. *Processes*, 11(3), 688. <https://doi.org/10.3390/pr11030688>

Oelschlaeger, T. A. (2010). Mechanisms of probiotic actions A review. *International Journal of Medical Microbiology*, 300(1), 57–62.

Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol. (Eds.).(2017). Current Developments in Biotechnology and Bioengineering (pp. 415-434). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-639905.00018-9>

Paray, A. A., Singh, M., Mir, M. A., & Kaur, A. (2023). Gram Staining: A Brief Review. *International Journal of Research and Review*, 10(9), 336-341. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20230934>

Pearce, L., & Flint, S. (2005). *Streptococcus thermophilus*. In *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 2631–2635). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227235-8/00474-0>

Reddy, M., et al. (2024). Microbiological Techniques to Study Undue Strain Dominance Among Probiotic Bacteria in Order to Develop Compatible Multiple Mixed Probiotic Cultures to Prevent or Treat Diseases. *Medical Research Archives*, 13(1). <https://doi.org/10.18103/mra.v13i1.6201>

Reuben, R. C., & Torres, C. (2024). Bacteriocins: potentials and prospects in health and agrifood systems. *Archives of Microbiology*, 206(5), 233. <https://doi.org/10.1007/s00203024-03948-y> SCIMAT /

Santos, C., Raymundo, A., Moreira, J. B., & Prista, C. (2025). Exploring the Potential of Lactic Acid Bacteria Fermentation as a Clean Label Alternative for Use in Yogurt Production. *Applied Sciences*, 15(5), 2686. <https://doi.org/10.3390/app15052686>

Sapkota A. Staphylococcus saprophyticus – An Overview. *Microbe Notes*. Publié le 30 juin 2022. Disponible sur : <https://microbenotes.com/staphylococcus-saprophyticus/>. Consulté le 28 juin 2026.

Shaaban, M., Abd El-Rahman, O. A., Al-Qaidi, B., & Ashour, H. M. (2020). Antimicrobial and antibiofilm activities of probiotic lactobacilli on antibiotic-resistant *Proteus mirabilis*. *Microorganisms*, 8(6), 960. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060960>

Saulnier-Bellemare, T., & Patience, G. S. (2024). Homogeneous and heterogeneous catalysis of glucose to lactic acid and lactates: a review. *ACS Omega*, 9(22), 23121–23137.

<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10015>

Siedler, S., Balti, R., & Neves, A. R. (2019). Bioprotective mechanisms of lactic acid bacteria against fungal spoilage of food. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 138-146.

<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.11.015>

Simons, A., Alhanout, K., & Duval, R. E. (2020). Bacteriocins, Antimicrobial Peptides from Bacterial Origin: Overview of Their Biology and Their Impact against Multidrug-Resistant Bacteria. *Microorganisms*, 8(5), 639.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms8050639>

Sinawe, H., & Casadesus, D. (2024). Urine culture. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK55756>

Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., Rafeek, S. B. S., Sivakumar, K., Ramasamy, S. P., Chaiaysut, C., Fukngoen, P., & Alagarsamy, K. (2025). Lactic acid bacteria in the meat industry: Flavor, function, and food safety. *Frontiers in Microbiology*, 16,

1703213. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1703213>

Solis-Balandra, M. A., & Sanchez-Salas, J. L. (2024). Classification and multi-functional use of bacteriocins in health, biotechnology, and food industry. *Antibiotics*, 13(7), 666.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics13070666>

Soundharrajan, I., Yoon, Y. H., Muthusamy, K., Jung, J. S., Lee, H. J., Han, O. K., & Choi, K. C. (2021). Isolation of *Lactococcus lactis* from Whole Crop Rice and Determining Its Probiotic and Antimicrobial Properties towards Gastrointestinal Associated Bacteria.

Microorganisms, 9(12), 2513. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122513>

Soltani, N., Abbasi, S., Baghaeifar, S., Taheri, E., Farhodi Sefidan Jadid, M., Emami, P., Abolhasani, K., & Aslanshirzadeh, F. (2022). Antibacterial and antibiofilm activity of *Lactobacillus* strains secretome and extraction against *Escherichia coli* isolated from urinary tract infection. *Biotechnology Reports*, 36, e00760.

<https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00760>

Sugrue, I., Ross, R. P., & Hill, C. (2024). Bacteriocin diversity, function, discovery and application as antimicrobials. *Nature Reviews Microbiology*, 22(9), 556–571.

<https://doi.org/10.1038/s41579-024-01039-x>

Taale, E., Savadogo, A., Cheikna, Z., Tapsoba, F., Traoré, A., & Karou, S. D. (2016).

Les peptides antimicrobiens d'origine microbienne : cas des bactériocines [Anticrobial peptides from microbes: case of bacteriocins]. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *10*(1), 384-399. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.29>

Trias, R., Bañó, L., Montesinos, E., & Badosa, E. (2020). Lactic Acid Bacteria as

Antibacterial Agents to Extend the Shelf Life of Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables: Quality and Safety Aspects. *Microorganisms*, *8*(6), 952. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060952>

Tsai, C.C., Lai, T.M., Lin, P.P. and Hsieh, Y.M. (2018). Evaluation of Lactic Acid

Bacteria Isolated from Fermented Plant Products for Antagonistic Activity against Urinary Tract Pathogen *Staphylococcus saprophyticus*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *10*, 210-217. <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9302-x>

Vandenbergh, L. P. S., Karp, S. G., De Oliveira, P. Z., De Carvalho, J. C., Rodrigues, C., & Soccol, C. R. (2018). Solid-state fermentation for the production of organic acids. In

A. Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* 415-434). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444639905.00018-9>

Wang X., Zhang D., Dai Z., Yu J., Li Q., & Zhang L. (2023). Infection and Drug Resistance, *16*, 4571–4577. <https://doi.org/10.2147/IDR.S418755>.

Yang, H., Hao, L., Zhao, D., Zheng, J., & Wu, C. (2025). Mechanisms. Food

Science and Human Wellness. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2025.9250674>

Yang, A., Tian, Y., & Li, X. (2024). Unveiling the hidden arsenal: New insights into *Proteus*

mirabilis virulence in UTIs. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *14*, Article 1465460. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1465460>

Zarour, K., Benmechernene, Z., Hadadji, M., Moussa-Boudjemaa, B., Benhenni, J. E.,

& Kihal, M. (2013). Caractérisation microbiologique et technologique des espèces de *Leuconostoc mesenteroides* isolées du lait cru de chèvre et de chamelle d'Algérie. *Revue Nature & Technologie*, *B*(8), 39–47.

Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M. A. P., Harris, H. M. B., Mattarelli, P.,

O'Toole, P. W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G. E., Gänzle, M. G., & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck

1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 70(4), 2782–2858.

<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>

Zimina, M., Babich, O., Prosekov, A., Sukhikh, S., Ivanova, S., Shevchenko, M., &

Noskova, S. (2020). Overview of Global Trends in Classification, Methods of Preparation and Application of Bacteriocins. Antibiotics, 9(9), 553.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics9090553>

Annexe

Annexes 1 :

1.Compositions des milieux de culture :

Gélose nutritive :	Bouillon nutritif (BN) :
Peptone.....5g Extrait de viande....1g Extrait de levure....2g Nacl....5g Agar15g Eau distillé.....1L pH7	Peptone.....5g Extrait de viande....1g Extrait de levure....2g Nacl....5g Eau distillé.....1L pH7
Gélose MH	Gélose M17 :
Extrait de viande.....3g Hydrolysate acid casein 17.5g Amidon....1.5g Agar.....15g pH7.3	Extrait de levure ...2.5g Extrait de viande...5g Peptone....10g Glycérophosphate Na.....19g Sulfate Magnesium..... 0.025g Acide ascorbique.... 0.5g Lactose.....5g Agar15g Eau distillé.....1L pH7
Gélose MRS :	
Peptone10g Extrait de viande....10g Extrait de levure.....5g Glucose20g Phosphate dipotassique (K ₂ HPO ₄).....2g Citrate triammonique2g Acitate sodium.....5g Sulfate manganése0.5g Sulfate magnesium.....0.2g	

Agar15g	pH6.5
Eau distillé.....1L	

Stérilisation à 121C° par autoclavage pendant 15à20min

Eau physiologique :
Chlorure de sodium9g
Eau distillé.....1L

Annexe 2 :

Matériel et appareillage :

Appareillage :	Verreries et autres :	Réactifs et autres :
autoclave Etuve ☐ Bec bunsen ☐ Autoclave ☐ Bain-marie • Agitateur magnétique • ph- mètre • balance de précise Micropipette ☐ réfrigérateur • vortex • microscope optique	• Pipette graduée • Bécher • Portoir ☐ Tubes à essai • Papier en aluminium • boites pétri • Les embouts bleus • Papier whatman • Disques d'antibiotiques • Flacons et tubes stériles • Spatule • Erlenmeyer • Anse de platine • Entonnoir • Pissette • Pince • Les lames	Violet de Gentiane Lugol Iode Safranine Huile à immersion NaOH Eau distillée



