

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Microbiologie Fondamentale et Appliquée

THEME

Évaluation de l'antibiorésistance et du potentiel de formation
de biofilm des souches de *Staphylococcus* spp. isolées à partir
de la viande de poulet

Présenté par : M^{me} Belabbaci Nadjia
M^{lle} Gharbi Rachida

Devant le jury composé de :

Président	Dr. Mihoub Redouane	MCA
Examineur	Dr. Messaoudi Omar	MCA
Encadreur	Dr. Benamar Ibrahim	MCB

Soutenu publiquement le : lundi 29/05/2023

Résumé

Staphylococcus est l'un des agents pathogènes responsables des intoxications alimentaires. La transmission à partir de la viande est considérée comme un problème très préoccupant dans l'industrie avicole en raison de son impact sur la santé publique. Ce travail s'intéresse à mettre le point sur la situation actuelle en matière d'occurrence des *Staphylococcus* spp. dans la viande de poulet cru dans la ville de Laghouat, et de caractériser leurs profils d'antibiorésistance et leurs capacités à former des biofilms sur différents matériaux ; à savoir (pvc, acier inoxydable, titanium et polyépoxyde). Une analyse microbiologique a porté sur 20 échantillons recueillis aléatoirement de différentes boucheries, dont 70% positifs à *staphylococcus* spp. 18 souches ont été isolées conformément à la norme ISO 6888, partiellement modifiée. L'identification biochimique a révélé que 78% des souches sont des *Staphylococcus* à coagulase positif, et 22% sont à coagulase négatif. La résistance des souches aux antibiotiques a montré une résistance totale au Beta-lactamine, ceux-ci indiquent la présence des souches résistantes à la méthicilline SRM. D'autre part, aucune résistance vis-à-vis l'acide fusidique n'a été enregistrée. L'étude de la formation du biofilm a révélé que plus de la moitié des souches (61,11%) produisaient le slime bactérien par la technique du rouge congo, 25% d'entre elles étaient fortement formatrices de biofilm sur Polychlorure de Vinyle (PVC) avec un taux de 16,66 % chez les souches à coagulase négatif et 8,33% chez les souches à coagulase positif. La capacité d'adhérer et de former des biofilms sur les surfaces en acier inoxydable, en titanium et en polyépoxyde a montré que celles sur les derniers sont les plus élevées par rapport aux autres. Par conséquent, les données obtenues ici peuvent être très pratiques pour contribuer à la mise en œuvre des programmes d'hygiène pour la viande, pour soutenir l'évaluation des risques et la gestion des risques des maladies d'origine alimentaire.

Mots clés : *S. aureus*, viande de Poulet, SARM, résistance aux antibiotiques, biofilm.

Summary

Staphylococcus is one of the pathogens responsible for food poisoning. Its transmission from meat is considered as a problem of great concern in the poultry industry due to its impact on public health. This work aims to review the current situation in terms of the occurrence of *Staphylococcus* spp. *aureus* in raw chicken meat in the city of Laghouat, and to characterize their antibiotic resistance profiles and their ability to form biofilms on different materials; namely (pvc, stainless steel, titanium and polyepoxide). A microbiological analysis focused on 20 samples collected randomly from different butchers, 70% of which were positive for *Staphylococcus* spp. 18 strains were isolated according to the ISO 6888 standard, slightly modified. Biochemical identification revealed that 78% of the strains are coagulase-positive *Staphylococcus*, and 22% are coagulase-negative. The resistance of the strains to antibiotics showed a total resistance to Beta-lactam, these indicate the presence of strains resistant to methicillin MRS. On the other hand, no resistance to fusidic acid was recorded. The study of biofilm formation revealed that more than half of the strains (61.11%) produced bacterial slime by the congo red technique, 25% of them were strongly biofilm-forming on polyvinyl chloride (PVC) with a rate of 16.66% in coagulase negative strains and 8.33% in coagulase positive strains. The ability to adhere and form biofilms on stainless steel, titanium and polyepoxide surfaces has shown that those on the latter are the highest compared to the others. Therefore, the data obtained here can be very useful to aid in the implementation of meat hygiene programs, to support risk assessment and risk management of food borne diseases. that epoxy is higher than the others.

Key words: *S. aureus*, chicken meat, SARM, antibiotic resistance, biofilm.

الملخص

المكورات العنقودية هي واحدة من مسببات الأمراض المسؤولة عن التسمم الغذائي. يعتبر انتقاله من اللحوم مشكلة ذات أهمية كبيرة في صناعة الدواجن لما له من تأثير على الصحة العامة. يهدف هذا العمل إلى مراجعة الوضع الحالي من حيث ظهور بكتيريا المكورات العنقودية في لحوم الدجاج النيئة في مدينة الأغواط ، وتوصيف خصائصها المقاومة للمضادات الحيوية وقدرتها على تكوين أغشية حيوية على مواد مختلفة. وهي (بولي كلوريد الفينيل ، الفولاذ المقاوم للصدأ ، التيتانيوم والبوليبوكسيد). ركز التحليل الميكروبيولوجي على 20 عينة تم جمعها عشوائياً من جزارين مختلفين ، 70٪ منها كانت إيجابية لبكتيريا المكورات العنقودية . تم عزل 18 سلالة طبقاً لمعيار آيزو 6888، تم تعديلها جزئياً. كشف التعرف البيوكيميائي أن 78٪ من السلالات هي بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية (Coagulase+)، و 22٪ (Coagulase-) .

أظهرت مقاومة السلالات للمضادات الحيوية مقاومة كاملة لبينالاکتام، وهذا يشير إلى وجود سلالات مقاومة لميثيسيلين. من ناحية أخرى، لم تسجل مقاومة لحمض الفوسيديك.

كشفت دراسة تكوين الأغشية الحيوية الرقيقة أن أكثر من نصف السلالات (61.11٪) أنتجت مخاطاً جرثومياً بتقنية كونغو الأحمر ، 25٪ منها عبارة عن غشاء حيوي قوي على البولي فينيل كلوريد (PVC) بمعدل 16.66٪ في السلالات (Coagulase-) و 8.33٪ في السلالات (Coagulase+). أظهرت القدرة على الالتصاق وتشكيل الأغشية الحيوية على أسطح الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم والبولي أكسيد أن تلك الموجودة على الأخير هي الأعلى مقارنة بالآخرين. لذلك ، يمكن أن تكون البيانات التي تم الحصول عليها هنا مفيدة للغاية للمساعدة في تنفيذ برامج صحة اللحوم ، لدعم تقييم المخاطر وإدارة مخاطر الأمراض المنقولة بالغذاء

الكلمات المفتاحية: المكورات العنقودية الذهبية، لحم الدجاج، MRSA ، مقاومة المضادات الحيوية ، الأغشية الحيوية.

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, le tout puissant, pour la santé, la patience et le courage qu'il nous à donner, pour la réalisation de ce modeste travail.

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre appréciation à Mr **Benamar Ibrahim** pour avoir accepté de nous encadrer, pour sa suggestion de ce sujet intéressant, et d'avoir été présent tout au long de notre travail.*

Soyez assuré, de tout respect et notre profonde gratitude.

Un grand merci s'adresse également à Mr Mihoub Redouane d'avoir accepté de présider le jury de ce travail, et Mr Messaoudi Omar d'avoir accepté de l'examiner.

Enfin, Nous remercions toutes personnes ayant participé de près ou de loin d'avoir à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace :

Du profond de mon cœur je dédie ce travail

A MES DEFUNTES PARENTS

Que je souhaitais d'être avec moi aujourd'hui...

Qu'Allah leur passe miséricorde.

A MON CHER MARI SIDI MOHAMED

Merci énormément pour ta patience, ton soutien permanent.

Ma vie ne serait pas aussi magique sans ton présence.

A MES ENFANTS, SOHEIB, MOSAAB, ISLEM, et OMAR EL FAROUK

Les prunelles de mes yeux, que dieu vous bénisse

A toutes ma famille BELABBACI et ma belle famille

Pour leur soutien moral et leurs encouragements

A MON ENCADREUR Mr BENAMAR Ibrahim

Qui mérite tous mon respect et tribut.

A MON AMIE ET BINOME RACHIDA, qu'Allah te garde le meilleur pour l'avenir.

Enfin à tous ceux qui m'aiment et que j'adore.

NADJIA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : Mes très chers parents source de vie d'amour et d'affection, pour leurs sacrifices, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chères sœurs Souad et Ahlam et Samiha pour l'amour, l'attention et l'aide qu'ils m'ont apportés.

*A mes frères Mohamed et Abdelkader et Sadek
Aux femmes de mes frères Soumia et Hasina et leurs enfants. Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

Mon cher fiancé Abdelhadi pour sa présence, son assistance moral et ses conseils.

A toute ma famille Gharbi et la famille Ben sayeh.

Spéciale dédicace à A mes chères Loudjain et Asil.

Ma chère amie Nadjia avant d'être binôme.

A mes amis et toutes les personnes que j'aime.

Tous ceux qui m'ont apporté d'aide de près ou de loin.

Et à toute l'équipe du labo.

Rachida

Liste des abréviations

ADN:Acide désoxyribonucléique

Agr: Accessory gène regulator

AML:Amoxicilline

AMP : Ampicilline

ARN: Acide ribonucléique

ATB: Antibiotique

BHIB : Bouillon coeur-cervelle.

BN : Bouillon nutritive.

CA-SFM : Comité AntibioGramme de la Société Française de Microbiologie

CIP: Ciprofloxacine

Clf :protéines de liaison au fibrinogène

CLSI: Clinical and Laboratory Standards Institute

CMI: Concentration Minimale Inhibitrice

CV: Cristal Violet

D.O: Densité Optique

DNase : Désoxyribonucléase

E :Erythromycine

EbpS: proteine liant l'élastine

EPS: substances polymériques extracellulaires

FAO : Food and Agriculture Organization

FDA: Food and Drug Administration des États-Unis

FnBPA: protéine de liaison à la fibronectine

FOX : Cefoxitine

GC : Contenu en guanine et cytosine

GN : Gélose nutritive.

HA : acide hyaluronique

Hla : L' α -hémolysine

Hlb : La β -hémolysine

IgG : Immunoglobuline G

ISO: International Organization for Standardization

LPV :Leucocidine Panton Valentine

LPXTG :Leucine – Proline - Acide aminé X – Thréonine – Glycine

LukF-PV: Fast eluted Panton Valentine

LukS-PV: Slow eluted Panton Valentine

MH: Muller Hinton

MSCRAMM : Microbial Surface Components Recognizing Adhesive Matrix Molecules

NaClO : L'hypochlorite de sodium

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

OMS : Organisation mondiale de la Santé.

OX: Oxacilline

P: Pénicilline

PBP : Penicillin Binding Protein

PIA : Polysaccharide Intercellular Adhesin

PLP Proteins Liants la Pénicilline

PNAG: poly- $\beta(1,6)$ -*N*-acétyl-D-glucosamine

PVC: Polychlorure de Vinyle

QS: quorum sensing

RCA : Méthode du rouge Congo agar

S. aureus: *Staphylococcus aureus*

Sar: Staphylococcal accessory regulator

SARM: *Staphylococcus aureus* Résistant à La Méciciline

SASM : *Staphylococcus aureus* Sensible à La Mécicilline

SCN: *Staphylococcus* Coagulase Négative

SCP : *Staphylococcus* Coagulase Positive

SE: *Staphylococcal* Enterotoxin

SERAM: Secretable Expanded Repertoire Adhesive Molecules

TCP : Méthode de Plaque de culture de tissus

TSST: Toxic Shock Syndrome Toxin

VISA: Vancomycin Intermediate-sensitive *Staphylococcus aureus*

VRSA: Vancomycin Resistant *Staphylococcus aureus*

Liste des Figures

Figure 1	Les Critères de qualité	10
Figure 2	Observation Sous un grossissement de x50 000par microscope électronique à balayage de <i>Staphylococcus aureus</i>	13
Figure 3	Mécanisme d'assemblage des monomères de lukF-PV et lukS-PV pour former un pore octamérique	17
Figure 4	Expression temporelle des adhésines et des facteurs de virulence de <i>S. aureus</i> .)	20
Figure 5	Régulation des facteurs de virulence par le système agr	21
Figure 6	Résistance aux antibiotiques de <i>S. aureus</i>	21
Figure 7	Les étapes de formation des biofilms	24
Figure 8	Images au microscope électronique à balayage (SEM) représentent le biofilm formé par <i>Staphylococcus aureus</i> sur la surface liminale d'un cathéter à demeure. La substance d'apparence collante tissée entre les bactéries cocci rondes, est composée des polysaccharides	26
Figure 9	préparation de solution mère	31
Figure 10	la préparation des dilutions décimale	32
Figure 11	Isolement des souches bactériennes sur les milieux de culture	32
Figure 12	purification des souches bactériennes sur le milieu de culture Baird Parker	33
Figure 13	Organigramme de l'identification de <i>Staphylococcus aureus</i>	35
Figure 14	Les microplaques de titration (photographie prise au laboratoire)	38
Figure 15	Les microplaques de titration est rempli par 250 µL de cristal violet à 0,1%	38
Figure 16	Les étapes de formation de biofilm par la microplaque 96 puits	39
Figure 17	Un spectrophotomètre lecteur de microplaque	40
Figure 18	les surfaces acier inoxydable, titanium et epoxy	41
Figure 19	Les étapes d'évaluation de la capacité à former les biofilms sur les surfaces acier inoxydable, titanium et epoxy	42
Figure 20	Schéma de conservation des souches bactériennes	43
Figure 21	Prévalence de <i>Staphylococcus</i> spp. dans la ville de Laghouat	45
Figure 22	Aspect macroscopique des colonies caractéristiques de <i>S.aureus</i> sur gélose Baird-Parke	47
Figure 23	Aspect macroscopique des colonies présumé <i>S.aureus</i> sur gélose	47

Chapman (mannitol)

Figure 24	Observation microscopique après coloration de Gram	48
Figure 25	Mise en évidence de la catalase (photographie prise au laboratoire)	48
Figure 26	Fréquence de la coagulase	49
Figure 27	Résultats de la recherche de la coagulase	49
Figure 28	Détection de <i>S. aureus</i> par API Staph	49
Figure 29	Test d'ADNase (photographie prise au laboratoire)	51
Figure 30	<i>Staphylococcus aureus</i> Alpha et bêta-hémolytique sur gélose au sang	52
Figure 31	Exemple de résultat d'antibiogramme	54
Figure 32	Profil d'antibiogramme des souches de staphylocoques isolées de viande de poulet.	57
Figure 33	Production de slime chez les staphylocoques isolés sur milieu Rouge Congo A : formatrice de slime, B : non formatrice de slime	58
Figure 34	Histogramme représentant la formation de biofilm par la technique de (CRA)	59
Figure 35	Capacité de souches bactériennes isolées de viande de poulet cru à former un biofilm par la technique des microplaques de titration à 96 puits (PVC	60
Figure 36	Formation de biofilm par la technique PVC sur un spectrophotomètre lecteur de microplaque	61
Figure 37	Quantification de la formation de biofilm des souches testées exprimée par les valeurs de la densité optique à 545 nm sur les trois surfaces (acier inoxydable, titanium, et epoxy) après 72 heures d'incubation	63
Figure 38	le spectrophotomètre utilisé dans l'expérimentation	63

Liste des Tableaux

Tableau 1	Production de viande de volaille dans un ensemble de pays	7
Tableau 2	composition chimique (g) et valeur énergétique (kl) pour 100g de fraction comestible de viande poulet	8
Tableau 3	La composition en acides aminés essentiels des protéines de la viande de poulet (g/100g de fraction comestible)	8
Tableau 4	Teneur en lipides de quelques muscles chez le poulet en pourcentage (%) du poids frais	9
Tableau 5	Teneurs en vitamines de la viande de poulet pour 100g de parties comestibles	9
Tableau 6	Teneur en sels minéraux de la viande du poulet, teneur pour 100g de parties comestibles	10
Tableau 7	Collecte des échantillons	31
Tableau 8	Liste des molécules d'antibiotiques testés	37
Tableau 9	Résultat des plaques Api Staph	50
Tableau 10	Résultat d'identification biochimique	53
Tableau 11	Profil d'antibiorésistance des souches de Staphylococcus isolées	54
Tableau 12	Résistance des souches de Staphylocoques aux molécules d'antibiotiques testées (n=18)	57
Tableau 13	Capacité à former le biofilm par la production de slime sur la gélose au Rouge Congo des souches bactériennes isolées à partir de viande de poulet cru	59
Tableau 14	Capacité de souches bactériennes isolées de viande de poulet cru à former un biofilm par la technique des microplaques de titration à 96 puits (PVC)	60
Tableau 15	Classement des souches Staphylococcus testées pour leur capacité à former le biofilm sur les trois surfaces	62

Table des matières

Introduction générale	1
Synthèse bibliographique	4
I .Généralité sur la viande de poulet	5
I. 1 Définition de la viande	5
I.2 Viande de volaille	5
I.3 Consommation et production de viande de volaille	5
I.3.1 Consommation et production mondiale de viande de volaille	5
I.3.2 Consommation et production de viande de volaille en Algérie	7
I.4 Composition chimique de la viande	8
I.4.1 Protéine	8
I.4.2 Les lipides	9
I.4.3 Les vitamines	9
I.4.4 Les minéraux	9
I.5 Critères de qualité de viande	10
I.6 Microbiologie de la viande de poulet	10
I.6.1 Microflore de la viande de poulet	11
II. <i>Staphylococcus aureus</i> et leur facteurs de virulence	11
II.1 généralité sur <i>Staphylococcus</i>	11
II.1.1 Historique et taxonomie	11
II .1.2 Habitat	12
II .1.3 Caractères bactériologiques	12
II .1.3.1Caractères morphologiques	12
II.1.3.2 Caractères culturels	13
II .1.3.3 Caractères biochimiques	13
II .1.4 Les pathologies et facteurs de susceptibilité	14
II .2 Facteurs de virulence de <i>Staphylococcus aureus</i>	14
14II .2.1 Facteurs de virulence associés à la paroi	14
II .2.1.1 Facteurs d'adhésions	14
II .2.1.2 Protéine A	15
II .2.1.3 Capsule	15
II .2.2 Facteurs de virulence excrétés	15
II .2.2.1 Toxines	15
II .2.2.1.1 Hémolysines	16
L'hémolysine alpha	16
L'hémolysine bêta	16
L'hémolysine gamma	16
L'hémolysine delta	16
II .2.2.1.2 les leucocidines de Pantan et Valentine	17
II .2.2.1.3 Les exfoliatine	17
II .2.2.1.4 Les superantigènes	17
II .2.2.1.5 Les entérotoxines staphylococciques	18
II .2.2.2 Les enzymes	18

II .2.2.2.1 Les protéases	18
II .2.2.2.2 Les lipases	18
II .2.2.2.3 Les Staphylokinases	19
II .2.2.2.4 La coagulase	19
II .2.2.2.5 Les nucléases	19
II .2.2.2.6 L' hyaluronidase	19
II .2.3 Régulation de la virulence chez staphylococcus aureus	19
II .2.3.1 Le système agr	20
II .2.3.2 Le système sar	20
II.3 Résistance de <i>Staphylococcus aureus</i> aux antibiotiques	21
II .3. 1 Résistance de <i>S.aureus</i> aux bêtalactamines	22
II .3.2 Résistance de <i>S.aureus</i> à la méthicilline	22
II .3.3 Résistance de <i>S.aureus</i> à la vancomycine	22
III. Biofilm de <i>Staphylococcus aureus</i> en industrie agroalimentaire et leur élimination	23
III.1.Définition	23
III.2. Les étapes de la formation du biofilm	23
III.2.1. Film de conditionnement	24
III.2.2. Adhésion réversible et irréversible	24
III.2.3. Formation de microcolonies	25
III.2.4. Formation de matrice extracellulaire et maturation	25
III.2.5. Détachement et dispersion	26
III.3. Propriétés de biofilm en industries agroalimentaires	26
III.3.1. Biofilms de <i>Staphylococcus aureus</i> .	26
III.3.2. Nature de la matrice extracellulaire	27
III.4. Méthodes d'élimination de biofilm	27
III.4.1.Méthodes chimiques	27
III.4.2.Méthodes physiques	28
III.4.3. Conception du matériel des équipements	28
III.4.4. Bactériophages	28
III.4.5. Bactériocines	28
III.4.6. Inhibition de QS	28
Matériels et Méthodes	29
1. Collecte des échantillons	30
2. Recherche des <i>Staphylococcus</i> spp	31
2.1 Préparation de solution mère	31
2.2 Préparation de dilutions décimales	32
2. 3 Isolement des <i>Staphylococcus</i> spp	32
2.4 Purification des isolats	33
3. Identification des isolats	33
3.1 Examen macroscopique	33
3.2 Examen microscopique par coloration de Gram	33
3.3 Identification biochimique	34

3.3. 1 Test de la catalase	34
3.3.2 Fermentation de Mannitol	34
3.3.3 plaques API Staph	34
3.3.4 Test de la coagulase	34
4.Mise en évidence de quelques facteurs de virulence	36
4.1 Test d'ADNase	36
4.2 Test hémolyse sur gélose au sang	36
4.3 Antibiorésistance	36
4.4 Évaluation de la capacité de formation de biofilm	37
4.4 .1 La méthode du Rouge Congo Agar	37
4.4 .2 Formation de biofilm par les microplaques de titration à 96 puits en Polychlorure de Vinyle (PVC)	37
4.4 .2 .1 Principe	37
4.4 .2.2 Technique	38
4.4 .2.3 Lecture	40
4.4.1 Évaluation de la capacité à former les biofilms sur les surfaces en Acier inoxydable, Titanium et Epoxy	40
4.4.1.1 Préparation des surfaces	40
4.4.1.2 Technique	41
5. Conservation des souches	43
Résultats et discussion	44
I. Analyses microbiologiques	45
I.1.Caractérisation des isolats bactériens	45
I.1.1. Identification macroscopique	46
I.1.1.1 Sur la gélose Baird Parker	46
I.1.1.2 Sur la gélose mannitol salt agar	47
I.1.2.Identification microscopique	47
I.1.3. Identification biochimique	48
I.1.3.1 Test de catalase, et de coagulase	48
I.1.3.2 Api Staph	49
II. Mise en évidence de quelques facteurs de virulence	50
II.1. Test d'ADNase	50
II.2 Test hémolyse sur gélose au sang	51
II.3 Antibiorésistance	53
II.4 Evaluation de la formation du biofilm	58
II.4.1 Rouge Congo Agar (RCA)	58
III.4.2 Les microplaques de titration à 96 puits en Polychlorure de Vinyle (PVC)	59
III.4.3 Évaluation de la capacité à former les biofilms sur les surfaces en acier inoxydable, titanium et epoxy	61
Conclusion générale	64
Références bibliographiques	67
Annexes	81

Introduction générale

La sécurité sanitaire des aliments présente actuellement une préoccupation majeure dans le secteur agroalimentaire et pour les consommateurs du monde entier. Elle concerne la protection des aliments contre les contaminants, les agents pathogènes et les substances nocives, afin de prévenir les maladies d'origine alimentaire et de garantir la qualité des aliments consommés.

Les intoxications alimentaires se produisent lorsque des aliments contaminés sont ingérés, entraînant des symptômes qui peuvent arriver à des complications graves pour la santé. Ces intoxications peuvent être causées par de nombreux agents pathogènes, tels que (*Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus*, *E.coli*O157:H7, *Listeria monocytogenes*...etc), ou même par des toxines produites par ces agents pathogènes dans les aliments.

La viande de poulet est d'une importance capitale et est toujours inculquée comme une source principale d'intoxication alimentaire (**Abdallah et al., 2015**). Elle a été toujours considérée comme véhicule d'un nombre important d'agents (**Hataway, 2006**). En effet, les manipulateurs des viandes durant toute la chaîne de l'amont à l'aval, peuvent également être porteur des microorganismes responsables d'intoxication alimentaire. Cela se traduit généralement par un manquement important des bonnes pratiques d'hygiène.

Staphylococcus aureus est l'un de ces agents pathogènes. Sa transmission à partir de la viande est considérée comme un problème très préoccupant dans l'industrie avicole en raison de son impact sur la santé publique, et constitue un défi pour les autorités médicales et vétérinaires du monde entier (**Apua et al., 2010**), en particulier les *S.aureus* résistantes à la méthicilline (SARM) (**Lee, 2003 ; Lim et al., 2010**). La virulence de cet agent pathogène dépend en fait de plusieurs facteurs parmi eux, la résistance aux antibiotiques, qui constitue une menace majeure pour la santé publique, la production d'une grande variété de toxines, y compris les entérotoxines staphylococciques et leur pouvoir de former des biofilms qui est un problème majeur dans l'industrie agroalimentaire.

L'objectif principal de ce travail est de mettre le point sur la situation actuelle en matière d'occurrence des *Staphylococcus* spp. dans en particulier les *S.aureus* résistantes à la méthicilline (SARM) la viande de poulet cru dans la ville de Laghouat en particulier les *S.aureus* résistantes à la méthicilline (SARM). La deuxième partie de ce travail a été consacrée à la caractérisation de quelques facteurs de virulence des souches isolées ; à savoir, leurs profils d'antibiorésistance et leurs capacités à former des biofilms sur différents matériaux, d'une part, pour apprécier le niveau de respect des bonnes pratiques d'hygiène et

leur impact sur la qualité hygiénique des viandes de poulets. D'autre part, pour estimer - qualitativement- le risque de ce germe exposé à la population.

Ce document s'articule donc autour des axes suivants : une partie bibliographique qui présente la viande de poulet, *Staphylococcus aureus* et ces différents facteurs de virulence. Une autre partie sur la méthodologie du travail adoptée. Ensuite, les résultats de cette étude seront discutés et ouvriront la voie à une conclusion récapitulant les issues de ce travail, des perspectives, des recommandations et des études ultérieures.

Synthèse bibliographique

I. Généralité sur la viande de poulet

I.1 Définition de la viande

Selon le codex alimentarius, la viande est toutes les parties d'un animal qui sont destinées à la consommation humaine ou ont été jugées saines et propre à cette fin. Généralement, Les viandes se caractérisent par une grande hétérogénéité, elles sont principalement constituées de muscles striés squelettiques qui comportent aussi d'autres tissus en quantité très variable selon les espèces, les races, les âges, les régimes alimentaires et la région anatomique concernée. Les viandes sont aussi classées selon la couleur en: Viandes rouges et viandes blanches et selon la richesse en graisse en: Viandes maigres et viandes plus ou moins riches en graisse **(Starton, 1982)**.

I.2 Viande de volaille

La viande blanche appelle « viande de volaille » dans leur ensemble regroupe tous les produits, allant des carcasses aux viandes restructurées, en passant par les produits de découpe et différents produits de transformation actuellement commercialisés sous formes diverses **(Bourgeois et al., 1988)** Le codex Alimentarius, lui, définit La chair de volaille comme étant « la partie comestible de tout oiseau domestique, y compris les poulets, les dindes, les canards, les oies, les pintades et les pigeons, tués en abattoir » **(Codex Alimentarius, 2015)**.

I.3 Consommation et production de viande de volaille

I.3.1 Consommation et production mondiale de viande de volaille

À l'échelle mondiale, les disponibilités en protéines issues de la viande de bœuf, de porc, de volaille et d'ovin devraient croître de 16 %, 17 %, 8 % et 16 % respectivement d'ici 2031. La viande de volaille devrait représenter 47 % des protéines carnées consommées **(OCDE/FAO, 2022)**. En 2019, la viande de volaille représentait environ 39 % de la production mondiale de viande. Pour répondre à la demande croissante, la production de viande de volaille mondiale est passée de 9 à 132 millions de tonnes entre 1961 et 2019 **(OCDE/FAO, 2022)**. Les américains sont les plus grands consommateurs de viande de volaille avec 49,8 kg par habitant et par an. La consommation dans l'Union Européenne (UE) a atteint 23.4 kg par habitant et par an **(Faostat, 2015)**. Les principaux exportateurs mondiaux de viande de poulet sont le Brésil et les États-Unis tandis que les principaux importateurs sont Hong Kong et la Chine **(Faostat, 2015)**.

Tableau(01) : Production de viande de volaille dans un ensemble de pays (OCDE/FAO 2014).

	PRODUCTION (ktpac)	
	Moyenne 2011-13est	2023
MONDE	106 164	134 511
PAYS DÉVELOPPÉS	43 700	52 423
AMÉRIQUE DU NORD	20 905	25 861
Canada	1 210	1 392
États-Unis	19 695	24 469
EUROPE	17 839	20 821
Union européenne	12608	13 873
Fédération de Russie	3544	4 657
Ukraine	1040	1 437
PAYS D'OCÉANIE DÉVELOPPÉS	1209	1 567
Australie	1041	1 357
Nouvelle-Zélande	168	210
AUTRES PAYS DÉVELOPPÉS (1)	3748	4 175
Japon	1418	1 436
Afrique du Sud	1517	1 717
PAYS EN DÉVELOPPEMENT	62 464	82 088
AFRIQUE	3 437	4 723
AFRIQUE DU NORD	2 122	2 850
Algérie	285	389
Égypte	877	1 056
AFRIQUE SUB-SAHARIENNE	1 316	1 873
AMÉRIQUE LATINE et CARAÏBES	23 975	29 895
Argentine	1 883	2 543
Brésil	13 097	15 445
ASIE et PACIFIQUE	35 052	47 470
Chine (2)	17 573	22 385
Inde	2447	4 231
Arabie saoudite	589	689
Turquie	1 679	2 402
PAYS LES MOINS AVANCÉS(PMA)	2 270	3 374
OCDE (3)	42 723	51 469
BRICS	38 179	48 435

I.3.2 Consommation et production de viande de volaille en Algérie

D'après l'Office national des aliments du bétail et de l'élevage avicole, la consommation moyenne algérienne de viande blanche est d'environ 50 000 tonnes par mois

(Betraoui, 2021). Les indicateurs de consommation de viande blanche en Algérie ne sont pas loin des indicateurs mondiaux qui atteignent 18 kg par personne. La consommation moyenne de volaille en Algérie est de 15 kg par personne **(Betraoui, 2021)**. Selon les derniers chiffres communiqués, la production nationale en viande blanche a connu une évolution considérable en 2017, atteignant 5.3 Mqt, contre 2.092 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153% **(MADR, 2018)**. L'industrie comprend 20 000 agriculteurs employant environ 500 000 personnes **(Alloui et Bennoune, 2013)**.

I.4 Composition chimique de la viande

La viande est composée essentiellement d'eau, protides, lipides, glucides et minéraux comme l'indique le tableau (2). L'eau est le constituant fondamentale le plus important de point de vue quantitatif représente 72% dans le muscle **(Frenot et Vierling ,2001)**.

Tableau (2) : composition chimique (g) et valeur énergétique (kl) pour 100g de fraction comestible de viande poulet **(CIV, 2010)**

Composé	Eau (g)	Protides (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Energie (kcal)
Teneur	72,7	21	5,6	Traces	138

I.4.1 Protéine

La composition de la viande en protéines est relativement constante. Comparativement aux autres sources de protéines et notamment végétales, les protéines de viande sont particulièrement riches en acides aminés indispensables tels que la lysine et l'histidine **(Salvini et al. ,1998)**.

Tableau (3): La composition en acides aminés essentiels des protéines de la viande de poulet (g/100g de fraction comestible) **(Salvini et al. ,1998)**

Lysine (Lys)	1,66
Méthionine (Met)	0,77
Thréonine (Thr)	0,85
Valine (Val)	0,89
Isoleucine (Ileu)	0,92
Leucine (Leu)	1,60
Tryptophane (Try)	0,21
Phénylalanine (Phe)	0,73

I.4.2 Les lipides

C'est un élément variable rentrant dans la composition de la viande de volaille. Cette variabilité dépend de l'origine anatomique du morceau et du degré de parage (**Gandemer, 1992**). D'après **Paquin, (1988)** la volaille contient peu d'acides gras saturés et une forte proportion d'acides gras insaturés. Par rapport aux autres viandes, la teneur de cholestérol est relativement faible (54-99 /100mg).

Tableau (4) : Teneur en lipides de quelques muscles chez le poulet en pourcentage (%) du poids frais (Gandemer, 1992)

Musclé	Pectoraux	Cuisse	Pilon
Teneur	0,7-1,22	2,9-5,5	2,3-3,8

I.4.3 Les vitamines

La viande du poulet est riche en vitamine groupe B et C. Les vitamines les plus représentatives de la viande de poulet sont vitamine B9, PP, Acide ascorbique. (**Watier, 1992**)

Tableau (5) : Teneurs en vitamines de la viande de poulet pour 100g de parties comestibles (Vierling, 2003).

Vitamines	Teneur
Acide ascorbique (C)	2,5 Mg
Thiamine (B1)	0,10 Mg
Riboflavine (B2)	0,20 Mg
Pyridoxine (B6)	0,5 Mg
Acide folique (B9)	9 Ug
Cobalamine (B12)	0,5 Ug
Amide nicotinique (PP)	7 Mg

I.4.4 Les minéraux

La viande de poulet est riche en minéraux, elle renferme en moyenne 1 à 2mg de fer pour 100g de partie comestible, pauvre en calcium, mais riche en phosphore et potassium (**Frenot et Vierling, 2001**) (voir tableau 6).

Tableau (6) : Teneur en sels minéraux de la viande du poulet, teneur pour 100g de parties comestibles (Virling, 2003).

Elément	Sodium	Potassium	Phosphore	Calcium	Magnésium	Fer	Zinc
Teneur(mg)	80	350	200	12	37	1,8	0,85

I.5 Critères de qualité de viande

La notion de qualité peut se définir selon la norme ISO 8402 comme « l'ensemble des propriétés et caractéristique d'un service ou d'un produit qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites » pour le consommateur, la qualité d'un aliment peut être définie à partir d'un certain nombre de caractéristiques organoleptique (Coibion, 2008), indique que la qualité d'un aliment regroupe en général :

- La qualité organoleptique ou sensorielle.
- La qualité nutritionnelle ou diététique.
- La qualité technologique.
- La qualité hygiénique ou sécurité sanitaire.

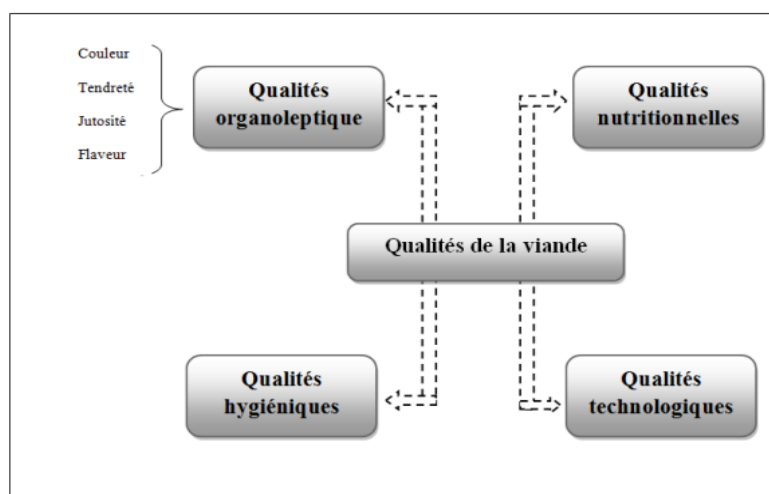


Figure 1 : Les Critères de qualité (Boudechicha, 2014).

I.6 Microbiologie de la viande de poulet

La viande est considérée comme un aliment de choix en raison de sa valeur nutritive. Sa richesse en protéines et la nature de celles-ci en font un aliment indispensable pour une ration alimentaire équilibrée. Toutefois, la viande est aussi un substrat favorable au développement des micro-organismes, essentiellement des bactéries protéolytiques qui entraînent des modifications néfastes sur l'odeur, la couleur, la texture et éventuellement des germes pathogènes qui produisent des substances toxiques (Larpent, 1997 ; Lozach, 2001 ; Guiraud, 2003).

I.6.1 Microflore de la viande de poulet

La microflore des viandes de poulets est composée essentiellement de germes saprophytes. **(Cartier, 2007)**. Les germes saprophytes les plus rencontrés sur les viandes sont les genres: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, les *Entérobacteriaceae* (*Escherichia coli*, ...) *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Clostridium* **(Dachy, 1993 ; Hinton et al., 1998)**. Les germes pathogènes susceptibles de contaminer la viande de poulet, les plus fréquents sont: *Campylobacter jejuni*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Shigella*, en plus de *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* **(Fournaud, 2000; Korsak et al., 2004; Bourgeois et al., 2008)**.

II. *Staphylococcus aureus* et leurs facteurs de virulence

II.1 généralité sur *Staphylococcus aureus*

II.1.1 Historique et taxonomie

Les staphylocoques ont été mis en évidence pour la première fois en 1878 dans le pus d'abcès par Koch en Allemagne. La dénomination de *Staphylococcus* a été introduite en 1883 par Ogston et provient de l'association des termes grecs Staphylê, grappe de raisin et Kokkos, grain. La classification des staphylocoques a connu de nombreux bouleversements; lors de la première édition en 1923 du « Bergey's Manual[®] of Determinative Bacteriology », les staphylocoques étaient classés dans la famille des Streptococcaceae puis lors de la deuxième édition en 1926 dans la famille des Micrococcaceae. En 1948 cette famille comprenait alors le genre *Micrococcus* et *Staphylococcus* **(Fauchère et Avril, 2002)**. En 1974, Baird-Parker sépare définitivement le genre *Staphylococcus* du genre *Micrococcus* grâce à la différence du contenu en guanine et en cytosine de leur ADN, 66- 75% pour *Micrococcus* et 30-39% pour *Staphylococcus*. Les staphylocoques sont classés comme suivant:

- Domain : Bacteria
- Phylum : Bacillota
- Classe : Bacilli
- Ordre : Caryophanales
- Famille : Staphylococcaceae
- Genre : *Staphylococcus* **(LPSN)**.

Le genre *Staphylococcus* comprend actuellement 85 espèces et sous-espèces. Néanmoins, le nombre d'espèce n'a cessé d'augmenter au cours des 20 dernières années et le

genre a été remanié. Les critères de base de la classification des espèces de staphylocoque restent laproduction de la coagulase libre, enzyme responsable de la coagulation du sérumhumain. On distingue ainsi sept espèces et sous espèces à coagulase positive dont *S.aureus*, et quarante-six à coagulase négative (**Le Loir et Gantier, 2010**). Pendant des décennies, la plus grande partie de la recherche a été axée sur *Staphylococcus aureus* coagulase positive. Par conséquent, ses facteurs de virulence, les interactions pathogène-hôte et la capacité de causer des infections potentiellement mortelles restent caractérisés dans la plus grande mesure (**Podkowiketal., 2016**). *S. aureus* est bien connu pour sa capacité à provoquer des intoxications alimentaires due à la sécrétion des entérotoxines thermostables (**warneret al., 2017;Hennekinneet al., 2012**).

II .1.2Habitat

Les staphylocoques sont des bactéries ubiquitaires présentes sur la peau, les muqueuses et la sphère rhino-pharyngée chez les animaux à sang chaud (mammifères, volailles) et en particulier chez l'homme. Ils sont également isolés de l'environnement naturel (sol, eau douce et eau de mer, poussière, air) et de l'environnement hospitalier (**Hennekinne, 2009**).

L'habitat naturel de *Staphylococcus aureus* est l'épithélium squameux humide des narines antérieures. Environ 20% de la population humaine sont porteurs de *S. aureus* en permanence dans leur nez et 60% des individus sont des porteurs intermittents (**Rebecca et al., 2009**).

II .1.3Caractères bactériologiques

II .1.3.1Caractères morphologiques

S. aureus est de forme sphérique (coque) (**figure 2**) à Gram positif, d'un diamètre allant de 0,5 à 1,5µm, anaérobies, non génératrices de spores, non mobile et se regroupe généralement en amas, souvent qualifiés de grappes de raisin d'un point de vue macroscopique, cette bactérie se caractérise parla pigmentation dorée de ses colonies, justifiant le nom vernaculaire destaphylocoque doré (**Le Loir et Gautier, 2010**).*Staphylococcus aureus* est répandu dans les aliments d'origine animale, particulièrement dans les produits de viande de poulet cru, en raison de l'exposition directe et de la contamination croisée aux stades de l'élevage, de l'abattage et de la transformation, du transport, de l'entreposage et de la commercialisation (**Wang et al., 2017**)

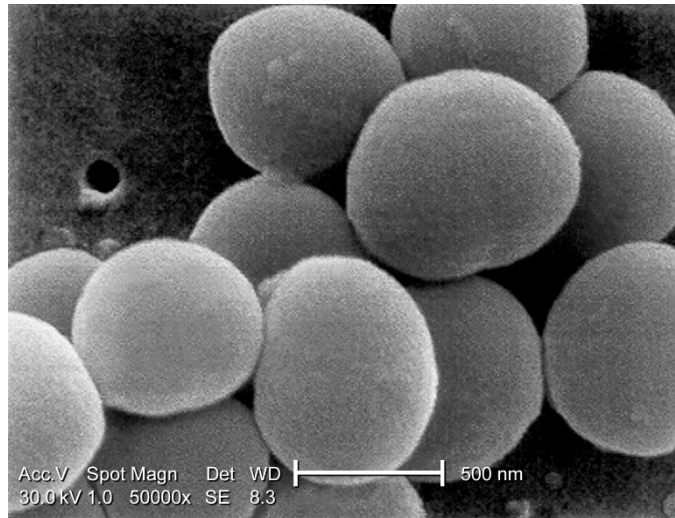


Figure 2: Observation Sous un grossissement de x50 000 par microscope électronique à balayage de *Staphylococcus aureus* (ID#11158PHIL/CDC, 2001)

II.1.3.2 Caractères culturels

Les souches de *S. aureus* ont un pouvoir de résistance dans les milieux hostiles, elles ont la capacité de pousser à des températures allant de 7°C jusqu'à 48°C, avec un optimum de croissance de 37 °C et une salinité de 75% et à un pH allant de 4 jusqu'à 10 (**Grace and Fetsch, 2018**). Elles font partie des bactéries non exigeantes, sont cultivées dans des milieux ordinaires et dans des milieux sélectifs tel que le milieu Chapman ou le Baird Parker. Ses colonies sur gélose ordinaire sont lisses, rondes, arrondies, bombées de couleur jaunée à jaune orange. En Bouillon, la culture de *S. aureus* forme un trouble uniforme abondant ; parfois un dépôt et un voile en surface (**Le Loir et Gautier, 2010**).

II .1.3.3 Caractères biochimiques

S. aureus a un métabolisme aérobie prédominant et anaérobie facultatif. Ces bactéries possèdent une activité catalase, coagulase, phosphatase, ainsi que des nucléases thermostables mais pas d'oxydase. Elles sont hémolytiques, ont la capacité de liquéfier la gélatine et de fermenter de nombreux sucres comme le glucose, le saccharose, le lactose, et le mannitol. Le diagnostic permettant de distinguer *S. aureus* des autres espèces est basé sur des tests réalisés sur colonies tels que l'identification du facteur agglomérant, de la coagulase, des hémolysines et de l'ADNase thermostable (**Behme, 1996 ; Brawn, 2005 ; Nandy et al., 2013**).

II .1.4 Les pathologies et facteurs de susceptibilité

Les infections symptomatiques peuvent intervenir dans divers cas :

- Lorsque la barrière cutanée est rompue (blessures). La bactérie peut alors se développer au niveau de la lésion et provoquer une infection cutanée dont le degré de gravité dépendra de la souche bactérienne à l'origine de l'infection ainsi que la rapidité de traitement et l'état de santé général du patient.
- Lors d'interventions chirurgicales. Le staphylocoque étant très répandu, il peut arriver qu'une contamination interne se développe. La bactérie provient dans un grand nombre de cas de la propre flore du patient et elle va développer son pouvoir pathogène à l'intérieur de son organisme
- Au cours de pathologies ou de traitements résultant en une diminution des défenses immunitaires, ainsi que chez les sujets atteints de diabète.
- Les intoxications alimentaires qui sont dues à des aliments qui ont été en contact avec un staphylocoque produisant des entérotoxines. Ces toxines sont retrouvées dans les aliments qu'ils soient crus ou cuits (ces entérotoxines sont thermostables) (**Institut pasteur ,2021**)

II .2 Facteurs de virulence de *Staphylococcus aureus*

S. aureus est solidement armée pour effacer un certain nombre de défenses que son hôte pourrait lui opposer (anticorps, phagocytose ou cytotoxicité), ces parades se distribuent en plusieurs groupes de toxines. La pathogénicité de *S. aureus* est surtout reliée à l'expression de facteurs de virulence. En plus de facteurs structuraux, il a en effet la capacité de sécréter, après invasion, des facteurs d'adhésion, des toxines ou encore des enzymes (**Gordon et Lowy, 2008**).

II .2.1 Facteurs de virulence associés à la paroi

II .2.1.1 Facteurs d'adhésions

Deux mécanismes d'adhésion coexistent : l'un non spécifique, médié par des forces physico-chimiques, l'autre spécifique, avec la synthèse bactérienne de facteurs d'adhésion (adhésines). La plupart des adhésines ou MSCRAMMs (microbial surface component recognizing adhesive matrix molecules) sont liées de façon covalente au peptidoglycane, d'autres sont sécrétées dans le milieu extracellulaire (SERAMs : secretable expanded repertoire of adhesive molecules) (**Patti et al ., 1994 ; Seidl et al., 2008**).

•MSCRAMs

Ces adhésines sont des protéines ancrées dans la paroi cellulaire grâce à leur motif LPXTG(leucine – Proline - Acide aminé X – Thréonine - Glycine).Une vingtaine d'adhésines a été identifiée (**Heininger et al., 2007**).Parmi ces MSCRAMs, on trouve les protéines de liaison à la fibronectine Fibronectinbinding proteins (FnBPA et FnBPB), la protéine de liaison au collagène (Cna), les protéines de liaison au fibrinogène ou *clumping factors*(ClfA et ClfB) et la protéine liant l'élastine ouElastin binding protein (EbpS). Les FnBP et les Clf jouent un rôle dans l'adhésion des cellules bactériennes aux cellules de l'hôte mais également sur les biomatériaux (cathéters ; prothèse...) (**Menzies, 2003**).

•SERAM

La famille des SERAMs regroupe des adhésines exprimées à la surface de *S. aureus* maissécrétées dans le milieu extérieur. Parmi ces adhésines qui ont été identifiées : Eap(ExtracellularAdherenceProtein) aussi désignée sous le nom de Map (MHC class II analogousprotein), Emp (Extracellular Matrix binding Protein) et Efb (ExtracellularFibrinogenBindingprotein) (**Chavakis et al., 2005 ; Foster,2005**).

II .2.1.2Protéine A

La protéine A est une protéine de surface à motif LPXTG liée au peptidoglycane codée par le gène *spa*. C'est un facteur de virulence pléiotropique(**Clarck et Foster, 2006**). Elle a une action pro-inflammatoire au niveau pulmonaire due à sa capacité d'interagir avec le récepteur TNF- α 1 exprimé à la surface des cellules épithéliales respiratoires (**Gomez et al., 2006**). Elle favorise l'agrégation bactérienne et la formation de biofilms (**Merino et al., 2009**).

II .2.1.3Capsule

Les polysaccharides capsulaires sont retrouvés dans 90% des isolats de *S.aureus*(**watts et al., 2005**). Son rôle dans la virulence reste cependant controversé. La capsule confère à la bactérie une résistance accrue à la phagocytose mais constitue également une cible pour des anticorps protecteurs (**Pohlmann-Dietze et al., 2000**).

II .2.2 Facteurs de virulence excrétés

II .2.2.1 Toxines

S. aureus est l'agent causal de plusieurs toxémies, regroupant les syndromes cutanés staphylococciques, le choc toxique staphylococcique et l'intoxication alimentaire. Toutes ces

pathologies sont dues à la synthèse d'un certain nombre de toxines par cette bactérie (Vincenoteet al., 2008).

II .2.2.1.1 Hémolysines

• L'hémolysine alpha

L' α -hémolysine (Hla) est une toxine cytolytique produite par plus de 90% des souches de *S. aureus* (Peacock et al., 2002 ; Tavares et al., 2014). C'est l'un des facteurs de virulence majeur de cette bactérie et l'un des mieux caractérisés. C'est une protéine thermostable et antigénique, exprimée lors de la phase exponentielle de croissance. Cette α -toxine a la capacité de former des pores dans les membranes cellulaires de l'hôte. Pour ce faire, elle se lie tout d'abord à son récepteur à la surface de la cellule cible, la molécule ADAM10 (Wilke et Bubeck-Wardenburg, 2010). Puis, elle s'insère dans la membrane plasmique où elle s'oligomérisse sous forme d'heptamères cylindriques (Dings et al., 2000). Les canaux amphipatiques ainsi formés induisent une entrée de diverses molécules de faible poids moléculaire et notamment d'ions calcium. Généralement, ce phénomène conduit à la lyse cellulaire (Bhakdi et Tranum-jensen, 1991).

• L'hémolysine bêta

La β -hémolysine (Hlb) est une sphingomyélinase de type C hydrolysant la sphingomyéline, phospholipide de la membrane plasmique. Contrairement à l'hémolysine alpha, cette hémolysine n'entraîne pas de pores dans la membrane plasmique des cellules cibles, mais provoque une déstabilisation de la bicouche lipidique et une altération de sa fluidité causant la mort cellulaire. L'Hlb de *S. aureus* cible et lyse sélectivement les monocytes mais est inactive vis-à-vis des lymphocytes et des fibroblastes (Vandenesch et al., 2012).

• L'hémolysine gamma

Cette toxine est dotée d'une forte action hémolytique, elle forme des pores dans la membrane cellulaire des érythrocytes et celle des leucocytes conduisant à la lyse cellulaire (Dings et al., 2000 ; Boisset et Vandenesch, 2010).

• L'hémolysine delta

La δ -hémolysine est une protéine thermostable, hydrophobe et faiblement antigénique, produite par 97% des souches (Dings et al., 2000 ; Katayam et al., 2013). Elle a un effet cytotoxique en agissant comme un détergent sur les membranes biologiques. Elle exerce un effet pro-inflammatoire en raison de sa spécificité de liaison pour les neutrophiles et les monocytes (Vincenot et al., 2008).

II .2.2.1.2 les leucocidines de Panton et Valentine

La PVL est l'une des protéines à tropisme membranaire, constituée des composés LukS-PV et LukF-PV, a une action cytotoxique sur les polynucléaires neutrophiles, les monocytes ou les macrophages. Ces oligomères forment des pores capables de laisser passer les ions calcium à travers les membranes des cellules. Ce mécanisme semble être la base de la cytotoxicité de la PVL (Miles et al., 2002 ; Miles et al., 2006 ; Labandeira-Rey et al., 2007).

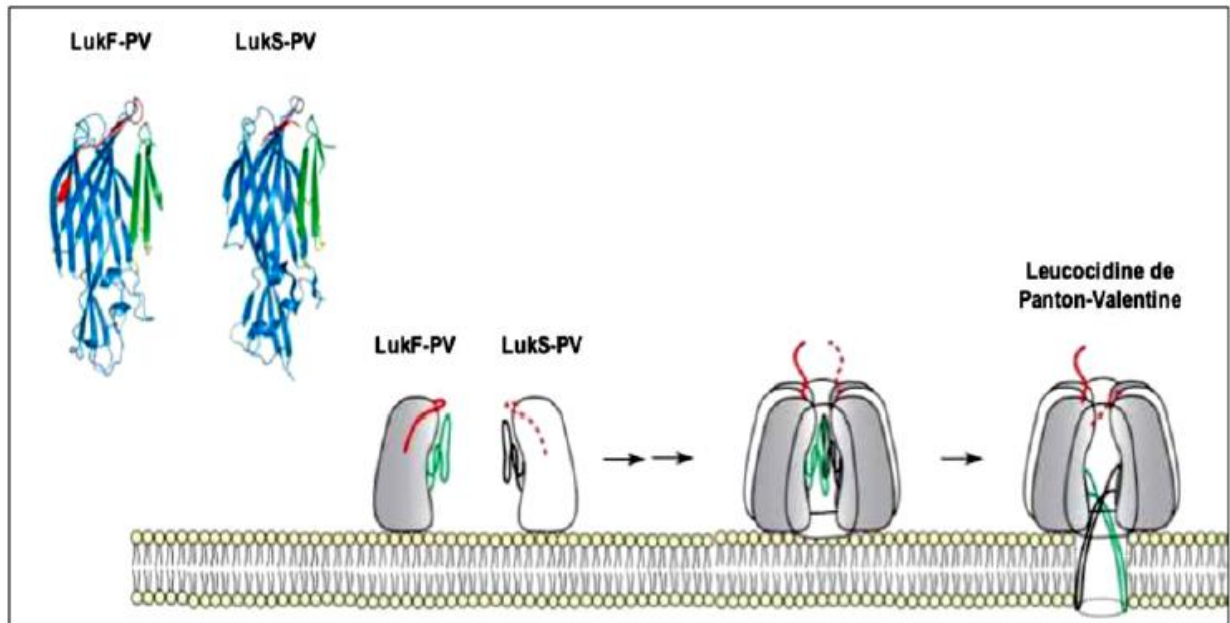


Figure 03 : Mécanisme d'assemblage des monomères de lukF-PV et lukS-PV pour former un Pore octamérique (Miles et al., 2006).

II .2.2.1.3 Les exfoliatine

Les exfoliatines ou épidermolysines sont des sérine-protéases épidermolytiques impliquées uniquement dans certaines pathologies cutanées spécifiques : l'impétigo bulleux et le syndrome d'exfoliation généralisée, trois exfoliatines ont été identifiées : l'exfoliatine A (ETA), l'exfoliatine B (ETB) et l'exfoliatine D (ETD) (Ladhani et al., 1999).

II .2.2.1.4 Les superantigènes

Les gènes de ces toxines sont retrouvés dans 70 à 80% des isolats cliniques de *S. aureus*, ils sont localisés sur des éléments génétiques mobiles (plasmides, prophages ou îlots de pathogénicité), ce qui favorise la dissémination horizontale entre les souches (Novick, 2003 ; Holtfreter et Broker, 2005). Ces exotoxines sont relativement stables à l'inactivation chimique, à la protéolyse et à la dénaturation par chauffage. Ces toxines sont notamment

impliquées dans le choc toxique staphylococcique et les toxi-infections alimentaires. Vingt-trois exotoxines superantigéniques staphylococciques ont été décrites. Il s'agit de la toxine du choc toxique staphylococcique (TSST-1) et de 22 entérotoxines (**Thomas et al., 2006 ; Ono et al., 2008**).

II .2.2.1.5 Les entérotoxines staphylococciques

Le pouvoir pathogène de *S. aureus* est lié à la production de toxines appelées entérotoxines staphylococciques SE, 21 entérotoxines différents (notées SEA à SEE, SEG à SEV) ont été mises en évidence (**Afssa, 2009**). Les entérotoxines staphylococciques ont initialement été définies par leur capacité à causer des intoxications alimentaires. *S. aureus* peut produire de nombreuses entérotoxines qui peuvent se retrouver dans les aliments lorsque ceux-ci sont contaminés par des souches de *S. aureus* enterotoxinogènes. Lorsqu'elles sont ingérées, ces toxines se révèlent fortement émétisantes et représentent l'une des principales causes de toxi-infections alimentaires, comme elles sont thermostables et résistantes à la pepsine stomacale, elles ne sont détruites ni par la cuisson de l'aliment, ni par l'acidité de l'estomac (**Vincenot et al., 2008**). Ce type d'intoxication alimentaire est caractérisé par un délai d'incubation court (1 à 6 h), avec apparition de troubles gastro-intestinaux associant crampes abdominales douloureuses, vomissements et diarrhées (**Vincenot et al., 2008**). Les propriétés émétisantes des SEs, en particulier de SEA, seraient dues à leur liaison avec les mastocytes présents dans la sous-muqueuse intestinale. La liaison de SEA à un récepteur encore inconnu des mastocytes, entraînerait la libération de sérotonine par dégranulation mastocytaire. La sérotonine libérée induirait la dépolarisation des nerfs entériques, en se liant à la surface des neurones. La dépolarisation du nerf vagal résultante stimulerait les noyaux cérébraux responsables du réflex de vomissement (**Hu et Nakane, 2014**).

II .2.2.2 Les enzymes

II .2.2.2.1 Les protéases

Les principales enzymes secrétées par *S. aureus* sont des protéases. Celles-ci peuvent agir de façon non spécifique en dégradant les protéines de l'hôte et en permettant l'acquisition de nutriments utiles à la croissance bactérienne. (**Zdzalik et al., 2012**).

II .2.2.2.2 Les lipases

Elles sont produites et fonctionnent pour dégrader les triglycérides pour libérer des acides gras libres (Cadieux et al., 2021).

II .2.2.2.3 Les Staphylokinases

De nombreuses souche de *S.aureus* expriment un activateur du plasminogène appelé staphylokinase ou fibrinolysine. C'est une enzyme qui transforme le plasminogène en plasmine (Chaalal, 2019).

II .2.2.2.4 La coagulase

Est une protéine extracellulaire qui se lie à la prothrombine de l'hôte et forme un complexe appelé staphylothrombine. La thrombine activée transforme donc le fibrinogène en fibrine. C'est la base du test de la coagulase en tube. C'est un marqueur classique de l'identification de *S. aureus*. Le *Staphylocoque epidermidis* est dépourvu de cette enzyme, il est ainsi qualifié de staphylocoque coagulase négative (Karam, 2004).

II .2.2.2.5 Les nucléases

S. aureus est la seule espèce du genre *Staphylococcus* à produire une nucléase thermostable. Elle permet ainsi une identification rapide de *S. aureus*. Elle a une activité exo- et endonucléasique qui lui permet de dégrader l'ADN mais aussi l'ARN des cellules de l'hôte, elle est active à pH alcalin en présence de calcium (Hu et al., 2013).

II .2.2.2.6 L'hyaluronidase

Les hyaluronidases sont des enzymes bactériennes qui clivent la liaison β -1,4 glycosidique de l'acide hyaluronique (HA). HA est synthétisé et sécrété par la membrane plasmique des cellules de mammifères, et il est abondant dans la peau, tissu squelettique, le cordon ombilical, les poumons, les valves cardiaques, le cerveau et un certain nombre d'autres tissus (Carolyne et al., 2014).

II .2.3 Régulation de la virulence chez *staphylococcus aureus*

Durant les différentes étapes de croissance, et surtout à la fin de la phase exponentielle, les bactéries doivent continuellement réorganiser l'expression de gènes « housekeeping » et d'autres gènes dits accessoires, qui n'interviennent que dans certaines situations. La figure 5 illustre cette situation, en particulier l'expression temporelle des adhésines et des facteurs de

virulence relâchés par *S. aureus* (toxines, enzymes divers, etc.). Cette expression temporelle de facteurs de virulence est contrôlée par des régulateurs globaux dont les mieux connus sont *agr* (accessorygeneregulator) et *sar* (staphylococcalaccessoryregulator) (Bisognano, Carmelo, 2000).

II .2.3.1 Le système *agr*

L'opéron *agr* est un régulateur global qui contrôle l'expression de plus de 100 facteurs de virulence. Comme illustré sur la figure 4 et 5 on remarque que *S. aureus* synthétise surtout des adhésines pendant la phase exponentielle, alors qu'il élabore et relâche ses principales toxines et enzymes hydrolytiques pendant la phase stationnaire. Le système *agr* contribue de manière majeure à cette régulation (Projan et al., 1997).

II .2.3.2 Le système *sar*

Sar est un autre régulateur global capable d'influencer l'expression des protéines sécrétées dans le milieu (Cheung et al., 1992). Le phénotype d'un mutant *sar* se distingue de celui d'un mutant *agr* par une diminution de certaines adhésines (ClfA, FnBPs, etc.) et par une augmentation de la production de protéases (Chan et al., 1998). *agr* et *sar* augmentent ou diminuent la synthèse de certaines adhésines comme les FnBPs. Ces activités dépendent de la phase de croissance et aboutissent soit à des effets synergiques soit antagonistes tels que démontrées sur des mutants simples ou combinés d'*agr* et de *sar* (Wolz et al., 2000). Une diminution de la résistance à la méthicilline a également été montrée chez les souches doubles mutantes *agrsar* (Durán et al., 1996).

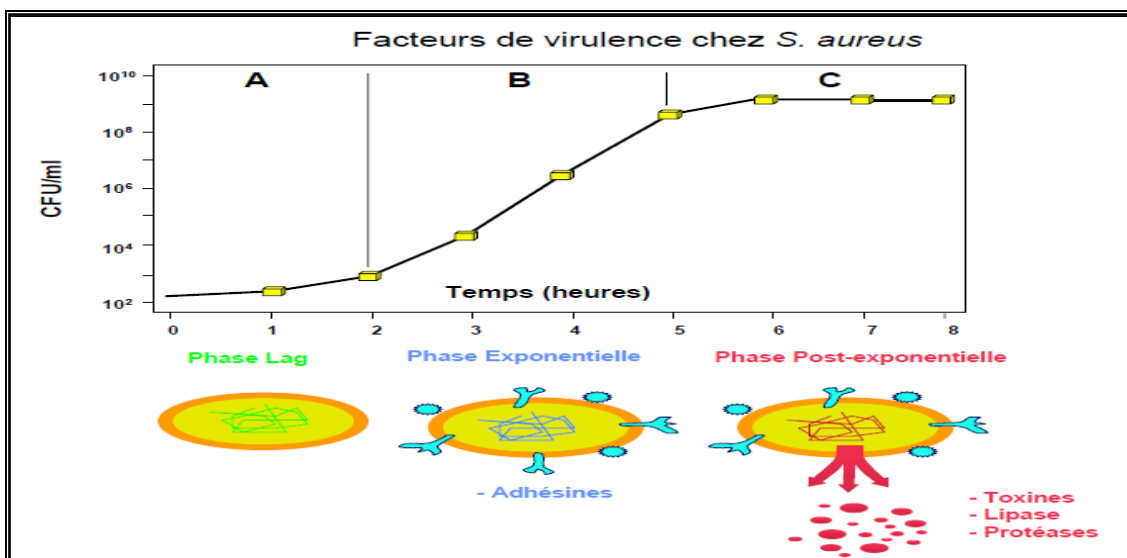


Figure 4 : Expression temporelle des adhésines et des facteurs de virulence de *S. aureus*.).
(Bisognano, Carmelo, 2000)

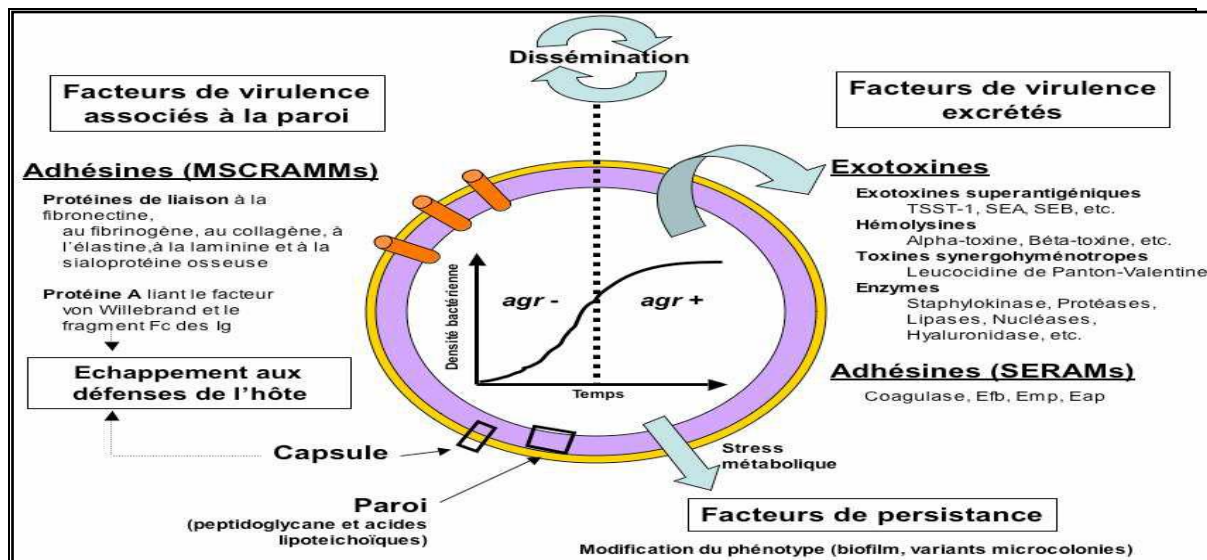


Figure 5 : Régulation des facteurs de virulence par le système agr (Ferry, 2008)

II.3 Résistance de *Staphylococcus aureus* aux antibiotiques

S. aureus ne possède aucune résistance naturelle aux antibiotiques. Entre 1940 et 1950, la pénicilline était l'antibiotique de choix pour traiter les infections à *S. aureus*. Cependant la sensibilité à la pénicilline a été de courte durée suite à l'apparition de souches résistantes productrices des β -lactamases (Appelbaum, 2006). En 1959, la méthicilline est découverte. C'est aussi une bêtalactamine mais dont l'noyau beta-lactame est résistant à l'action des pénicillinases. Peu après l'introduction de ce nouvel antibiotique apparaissent des souches de *S. aureus* résistantes que l'on appellera *S. aureus* résistants à la méthicilline (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA) Comme montré sur la figure 6 (Otter et French, 2010). De plus, au sein de ces souches résistantes plus de la moitié ne sont sensibles qu'à la vancomycine (Lowy, 2003). La vancomycine est un antibiotique de la famille des glycopeptides.

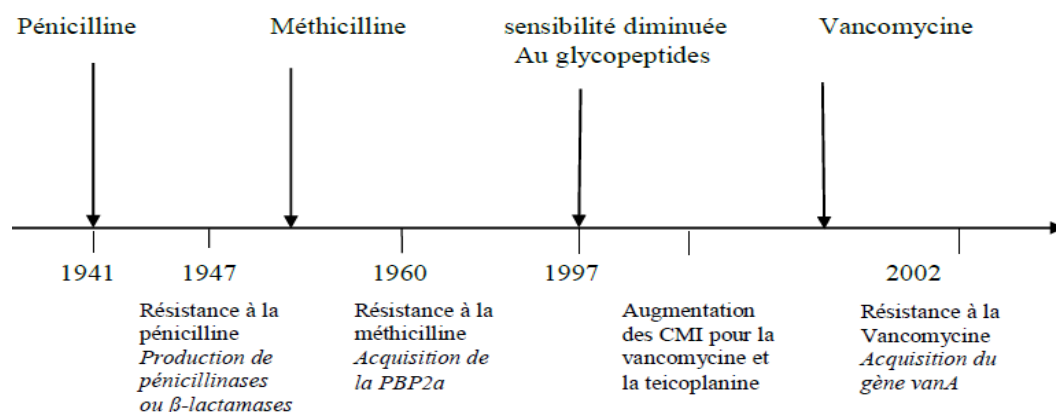


Figure 6: Résistance aux antibiotiques de *S. aureus* (Lowy 2003).

II .3.1 Résistance de *S.aureus* aux bêtalactamines

La famille des bêtalactamines comprend plusieurs classes d'antibiotiques. Parmi elles se trouvent les pénicillines, les céphalosporines, les carbapénèmes et les pénams. Ces antimicrobiens ont tous une structure en commun: l'anneau bêtalactame (**Poole, 2004**). La résistance aux β -lactamines chez les staphylocoques repose sur deux grands types de mécanismes : un mécanisme de résistance extrinsèque par production d'enzymes inactivant l'antibiotique et un mécanisme de résistance intrinsèque par modification des protéines de liaison à la pénicilline (PLP) ou par acquisition de nouvelles PLP (**Mainardi et al., 1996**).

II .3.2 Résistance de *S.aureus* à la méthicilline

Dans la fin des années 1950 des nouveaux bêta-lactamines semi-synthétiques ont été développés et sont devenus disponibles. Ils sont stables à l'action des pénicillinases. Le groupe comprend la méthicilline, l'oxacilline, nafcilline, flucloxacilline et dicloxacilline, méthicilline étant le prototype (**Fisher et al., 2005; Guignard et al., 2005**). La résistance à la méthicilline, qui entraîne une résistance à toutes les β -lactamines, est déterminée par la présence d'un gène chromosomique (*mecA*) qui code pour la PLP2a. Cette PLP additionnelle a moins d'affinité pour les β -lactamines et en particulier pour la méthicilline (**De Jonge et al., 1993**).

Les PLP, enzymes essentiels qui catalysent la transpeptidation des liens entre les peptidoglycanes de la paroi cellulaire, sont la cible des bêtalactamines chez les souches sensibles de *S. aureus* (**Gilmore et al., 2008**). La liaison de méthicilline, ou autre β -lactamine, aux PLP inhibe la réaction de transpeptidation de celle-ci, ce qui entraîne un arrêt de la biosynthèse de la paroi conduisant à la mort de la bactérie (Prescott et al, 2000). Chez les SARM la PLP2a est soit constitutionnellement présente ou induite lorsque la bactérie est en présence d'une bêtalactamine. La PLP2a, ayant une faible affinité pour les bêtalactamines, n'est pas affectée par ces antibiotiques et permet ainsi à la bactérie de continuer la biosynthèse de sa paroi (**Gilmore et al., 2008**). La PLP2a est codée par le gène *mecA* situé dans un grand fragment d'ADN chromosomique appelé *mecDNA*, retrouvé uniquement chez les souches résistantes à la méthicilline et intégré au niveau d'un site spécifique de *S. aureus* (**Eveillard, 2009**).

II .3.3 Résistance de *S.aureus* à la vancomycine

La vancomycine apparaissait alors comme un antibiotique de choix pour traiter les infections impliquant des SARM. Récemment, il a été montré que des souches de *S. aureus*

étaient aussi résistantes à la vancomycine en raison d'une substitution du dipeptide D-alanine-D-alanine par le dipeptide D-alanine-D-lactate. Cette résistance reste rare et pourrait provenir d'un transfert de plasmide portant l'opéron *vanA* de résistance à la vancomycine rencontré précédemment chez des souches d'*Enterococcus faecalis* (Shows et al., 2001).

Suivant les recommandations du CLSI, une souche de *S. aureus* est dite sensible à la vancomycine si sa concentration minimale inhibitrice (CMI) est ≤ 4 mg/L. Une souche de *S. aureus* de sensibilité intermédiaire à la vancomycine (GISA ou VISA pour *Glycopeptide ou Vancomycin Intermediate-sensitive Staphylococcus aureus*) se définit par une CMI comprise entre 8 et 16 mg/L. Les souches résistantes à la vancomycine (VRSA pour *Vancomycin Resistant Staphylococcus aureus*) ont une CMI > 32 mg/L (Tiwari, 2009; Ng et al., 2011).

III. Biofilm de *Staphylococcus aureus* en industrie agroalimentaire

III.1. Définition

Les biofilms sont définis comme une communauté de cellules microbienne attachées à un substrat, à une interface ou les unes aux autres, et coexistant dans une matrice (Xu et al., 2019 ; Ripolles-Avila et al., 2018). Cette matrice est autoproduite composée de substances polymériques extracellulaires (EPS) aussi connue sous le nom de « slime » (Flemming, 2011; Abe et al., 2011). Au sein des biofilms, des canaux se forment tout en facilitant le transport de nutriments, d'enzymes, de métabolites et afin d'éliminer les déchets à l'intérieur et à l'extérieur du biofilm. Cette architecture est essentielle pour répondre aux besoins des biofilms multi-espèces, ce qui permet de satisfaire aux exigences de chaque cellule et maintenir sa viabilité (Guinta, 2010).

III.2. Les étapes de la formation du biofilm

Les biofilms ont une structure organisée facilitant la survie bactérienne dans un pH extrême, pauvre en nutriments ou autrement hostile et conférant une résistance des bactéries aux agents antibactériens. Ce processus se déroule généralement en cinq (figure 7) étapes décrites ci-dessous (Gingichashvili et al., 2017)

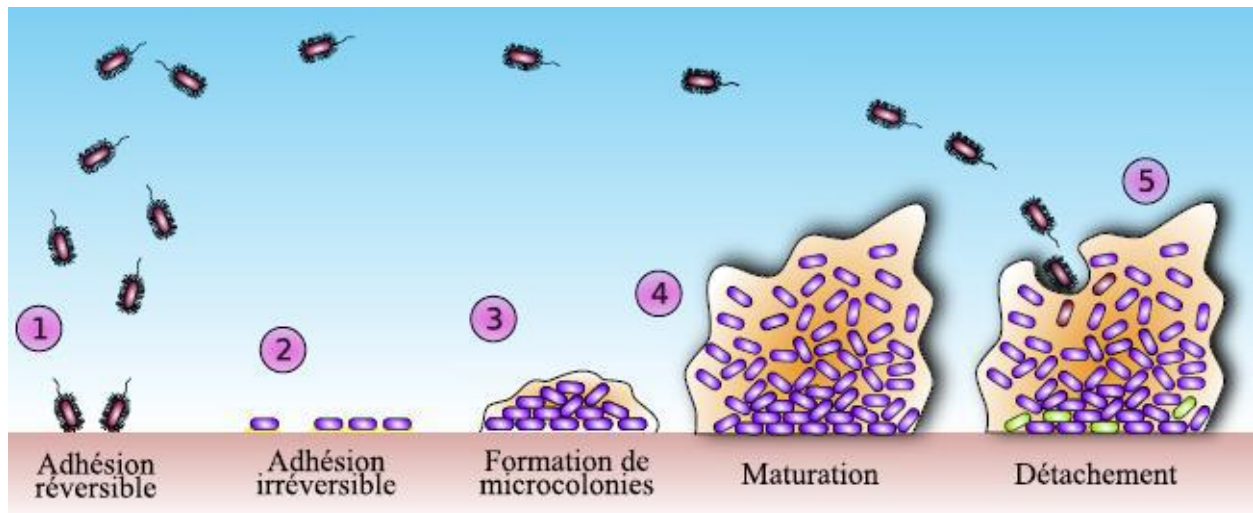


Figure 7 : Les étapes de formation des biofilms (Héloïsa et al., 2018)

III.2.1. Film de conditionnement

Dès les premières secondes qui suivent l'immersion d'un support en milieu naturel, il y aura une adsorption spontanée de molécules organiques et d'ions (protéines, fragments protéiques, glucides, lipides...) qui recouvrent toutes les surfaces exposées. C'est le phénomène de conditionnement qui est également appelé « film conditionnant » ou encore « film primaire » (Diaby, 2017). L'adsorption de ces molécules provoque des modifications des propriétés physico-chimiques de la surface du support et affecte l'adhésion bactérienne qui sera ainsi favorisée ou inhibée (Lorite et al., 2011). Cette dernière propriété est utilisée comme approche dans la lutte préventive contre l'adhésion microbienne et la formation de biofilm par la modification des surfaces (Bazaka et al., 2012 ; Yoshinari et al., 2010).

III.2.2. Adhésion réversible et irréversible

Pendant le premier attachement des microorganismes à la surface conditionnée, la disponibilité nutritive et le stade de croissance des bactéries elles-mêmes affectent cette adhésion bactérienne. Durant l'adhésion initiale aux surfaces, certains mécanismes complexes soit physico-chimiques ou biologiques interviennent (Hamedi, 2015). Parmi ces mécanismes, la motilité flagellaire est impliquée et peut être un élément clé de la formation d'un biofilm. Les cellules s'adsorbent sur une surface pendant un certain temps, mais peuvent se détacher (Muller et Guaguere, 2014). Du coup, il existe deux types d'adhésion bactérienne qui se suivent :

- Adhésion réversible qui est réalisée par diverses forces d'interaction soit interactions hydrophobes, liaisons de Van der Waals, forces hydrodynamiques et interactions

répulsives électrostatique. Ces forces permettent les interactions entre les cellules bactériennes et la surface (**Merzougiet al., 2013**).

- Adhésion irréversible qui dépendant du temps et fait appel à sécrétion d'exopolymères par les bactéries et permet de consolider leur fixation au support (**Kostakiotiet al., 2013**). Cette phase est caractérisée par des interactions de courte distance telles que les interactions hydrophobes, acides-base de Lewis, et la formation de dipôle. Ces interactions sont plus fortes et apparaissent lorsque la distance devient inférieure à 3. Très simplement dit, les bactéries qui se rapprochent étroitement de la surface lui deviennent attachées (**Karatan et Watnick, 2009**).

III.2.3. Formation de microcolonies

Une fois l'étape d'adhésion irréversible à la surface est réalisée, les bactéries se multiplient rapidement en formant des structures appelées microcolonies. Ces structures formées sont caractérisées par la présence d'un ou plusieurs exopolysaccharides qui sont auto-sécrétés par les bactéries et permettent le renforcement de l'attachement des bactéries entre elles et à la surface colonisée (**Hathroubi, 2016 ; Ayé, 2015 ; Otto, 2013**).

III.2.4. Formation de matrice extracellulaire et maturation

Cette étape est corrélée à la production de la matrice. En plus des EPS, elle contient des protéines, des acides nucléiques, du peptidoglycane, lipides, phospholipides et autres composants cellulaires. Les EPS sont responsables de la liaison entre les cellules bactérienne et d'autres particules environnantes. Ces composants confèrent aux cellules la protection contre les stress environnementaux tel que la pénétration des antimicrobiens (**Singh et al., 2013**). Pendant la phase de maturation, les bactéries continuent de sécréter l'exopolysaccharide ainsi que les autres composants de la matrice extracellulaire jusqu'à l'établissement d'une architecture complexe, stratifiée et hétérogène typique d'un biofilm mature (**Stewart et Franklin, 2008**). Un biofilm mature (figure 8) est caractérisé par la formation d'un film hétérogène tridimensionnel comportant des canaux aqueux qui forment un réseau de circulation permettant d'acheminer l'oxygène et les nutriments et d'évacuer les déchets (**Hathroubi, 2016**).

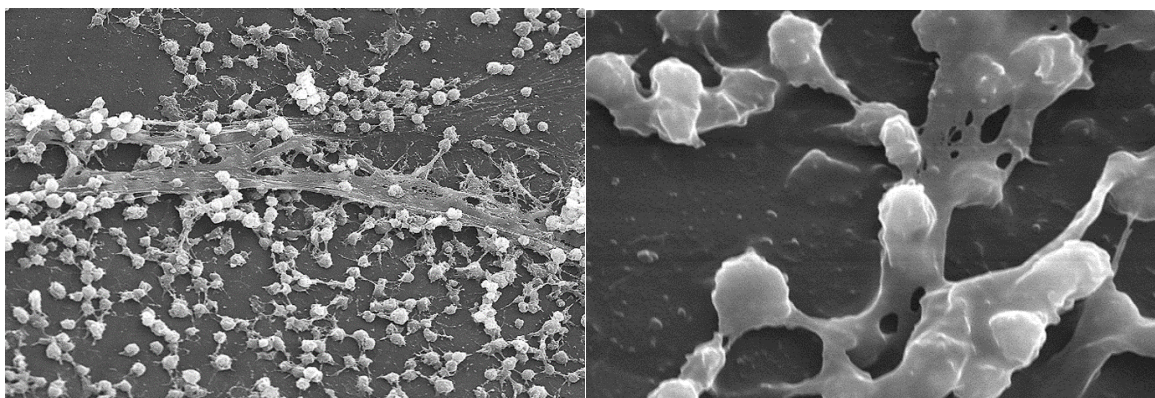


Figure 8: images au microscope électronique à balayage (SEM) représentent le biofilm formé par *Staphylococcus aureus* sur la surface liminale d'un cathéter à demeure. La substance d'apparence collante tissée entre les bactéries cocci rondes, est composée des polysaccharides (ID#7485 et ID#7488PHIL/CDC, 2005)

III.2.5. Détachement et dispersion

La dernière étape est la phase de détachement qui permet aux bactéries d'adhérer à une nouvelle surface et former un nouveau biofilm ou retourner à l'état planctonique. Ce détachement est sous influence de plusieurs facteurs incluant la densité cellulaire, le manque de nutriment et la présence de force de cisaillement ou d'enzyme dégradant la matrice polymériques (Kaplan, 2010). La dispersion du biofilm est considérée comme cruciale pour la propagation de la communauté bactérienne vers de nouveaux sites (Renner et weibel, 2011 ; Otto, 2013).

III.3. Propriétés de biofilm en industries agroalimentaires

Dans l'industrie de la transformation des aliments, la formation de biofilms est très préoccupante, car ils sont un réservoir microbien qui peut causer des dommages à l'équipement, la détérioration des aliments et des problèmes de santé publique. Ces biofilms sont considérés comme la principale source de contamination des aliments (Simões et al., 2010 ; Abdallah et al., 2014).

III.3.1. Biofilms de *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus peut former des biofilms sur l'hôte et sur des matériaux comme les surfaces environnementales ou de transformation des aliments y compris celle de la volaille (Ali et al., 2017 ; Silva et al., 2017 ; Abdallah et al., 2014 ; Simões et al., 2010). Wang et ses collaborateurs ont isolé des souches de *Staphylococcus aureus* des produits à base de poulet avec une capacité de formation de biofilm extrêmement forte (Wang et al.,

2017). *Staphylococcus aureus* peut produire un biofilm multicouche intégré dans une couche de glycocalyx ou de slime avec une expression protéique hétérogène (Al Bayati, 2017 ; Bouyahya et al., 2017).

III.3.2. Nature de la matrice extracellulaire

Il a été montré qu'un polysaccharide extracellulaire « poly- β (1,6)-N-acétyl-D-glucosamine » (PNAG) également nommé PIA (Polysaccharide Interacellular Adhesin) était l'un des constituants majeurs de la matrice d'EPS des biofilms de *S. aureus*. Ce PIA est synthétisé par des enzymes codées par l'opéron *ica ADBC* retrouvé dans la plupart des souches de *S. aureus* cliniques (Tu Quoc et al., 2007).

Le PIA est constitué de deux fractions polysaccharide I et polysaccharide II (Mack et al., 1994). La fraction I (80%) est un polymère de N-acétyl-glucosamine dont les unités sont liées entre elles par des ponts glycosidiques β (1-6), elle est chargée positivement (Rohde et al., 2010). La fraction II (20%) structuralement proche de la fraction I, décrite comme modérément anionique mais ayant une proportion plus faible de résidus D-glucosaminyl non acétylés et contenant des groupes phosphate et succinate. D'après sa composition, le PIA est à la fois positivement et négativement chargé et donc peut être lié via des forces ioniques au peptidoglycane ou aux acides teichoïques (Mack et al., 1996).

III.4. Méthodes d'élimination de biofilm

Il existe plusieurs approches pour lutter contre les biofilms formés en industries agroalimentaires. Ainsi, de nouvelles stratégies sont élaborées pour contrôler et prévenir leur formation.

III.4.1. Méthodes chimiques

La désinfection est une méthode qui permet la destruction des microorganismes pathogènes ou potentiellement pathogènes sur une surface (Fong et Barn, 2012). Les désinfectants chimiques sont les plus utilisés pour réduire le nombre des microorganismes (Anthony et al., 2015). Parmi les facteurs qui influencent l'action du désinfectant, le pH, la température, la durée d'exposition, l'interaction avec les autres microorganismes, la concentration, la nature de surface et la résistance bactérienne (Van Houdt et Michiels, 2010). Plusieurs composés se sont montrés efficaces contre les biofilms tels que le NaClO et l'ozone (Dosti et al., 2005; Lagrange et al., 2004 ; Khardre et al., 2001). Les désinfectants à base de chlore sont les plus utilisés dans l'industrie alimentaire (Galiét et al., 2018 ; Yang et

al., 2016) parce qu'ils sont faciles à préparer et à appliquer et sont généralement le plus rentable (**Van Houdt et Michiels, 2010**).

III.4.2. Méthodes physiques

Parmi les méthodes physiques, la cuisson reste l'arme absolue de maîtrise de la plupart des contaminations microbiennes à condition de vérifier la validité des barèmes temps/température (Bourgeois et Larpent, 1996). Le traitement thermique est utilisé comme méthode principale pour la stérilisation des aliments, pour détruire ou éliminer les agents pathogènes par l'application de températures élevées. En revanche, l'ionisation s'est avérée être une technologie prometteuse qui est un moyen sûr et non toxique d'éliminer la poussière et les agents pathogènes de l'air (**Arnold et Mitchell, 2002**).

III.4.3. Conception du matériel des équipements

La conception des installations des équipements de transformation alimentaire est très importante. Il faut séparer entre les zones de production, d'emballage et de stockage pour minimiser les contaminations croisées. Les matériaux de transformation et de production sont sélectionnés sur la base de certains critères, la facilité du nettoyage, la résistance à la corrosion chimique et les milieux alcalins et/ou acides surtout pour la transformation du lait (**Coughlan et al., 2016**).

III.4.4. Bactériophages

Les bactériophages sont des virus qui peuvent infecter les bactéries et affecter la formation de biofilm grâce à leurs enzymes qui peuvent détruire le composant EPS, et puis les bactéries exposées à la surface sont infectées par ces derniers (**Xihong Zhao et al., 2017 ; Harper et al., 2014**). C'est pour cela les bactériophages sont utilisés comme des agents « antibiofilm » (**Fisteret al., 2016 ; Iacuminet al., 2016**). Parmi les facteurs qui influencent ce type de traitement, on cite la synergie/antagonisme entre les phages et le désinfectant, la température qui ne peut être optimal pour le phage (**Galiéet al., 2018 ; Gutiérrezet al., 2019**).

III.4.5. Bactériocines

Des peptides antimicrobiens de synthèse ribosomale sécrétés par les bactéries (**da Silva et De Martinis, 2013**). Leur utilisation est utile pour empêcher la formation des biofilms sur les surfaces (**Galiéet al., 2018**). Jusqu'à présent la nisine est la seule bactériocine autorisée par le Food and Drug Administration des États-Unis (FDA) (**Galiéet al., 2018 ; Strempellet al., 2015**). Cette bactériocine permet de prolonger la date de péremption, protéger contre l'altération des produits et réduire le nombre de traitement thermique (**Galiéet al., 2018**).

III.4.6. Inhibition de QS

L'utilisation des inhibiteurs du QS agissent principalement en éteignant le système médiateur QS, qui à son tour, inhibe la communication cellule-cellule par dégradation enzymatique du QS, inhibition des signaux de biosynthèse du QS et le contrôle post transcriptionnel des QS (**Brackman et Coenye, 2015 ; Dong et al., 2001 ; Chung et al., 2011 ; Perez-Martinez et Haas, 2011**). Cette stratégie ciblant le QS et la formation de biofilms entraînent moins de pression de sélection, et par conséquent, ne développe pas de résistance au composé inhibiteur (**Coughlan et al., 2016 ; Brackman et Coenye, 2015**). Parmi ces stratégies, en site : le traitement par les extraits de plantes et l'utilisation des enzymes.

Matériels et Méthodes

1. Collecte des échantillons

Dans ce travail, 20 échantillons de la viande de poulet ont été prélevés aléatoirement de différentes boucheries de la ville de Laghouat dans une période allant du mois de janvier au mars 2023. Ces échantillons ont été prélevés de tel sorte qu'ils soient le plus proche possible des conditions d'achat standard par les consommateurs. Le transport des échantillons au laboratoire de département de biologie université Amar Thelidji, Laghouat, était rapide et les températures inférieures à 0C° et supérieures à 20C° ont été évitées. Les échantillons ont été immédiatement analysés ; la durée entre le prélèvement et l'analyse ne dépasse jamais les 02 heures. Le tableau n°07 résume le plan de collecte des échantillons.

Tableau N° 07 : Collecte des échantillons

Echantillonnages	Nombre des échantillons	Date de prélèvements
Premier	4	31/01/2023
Deuxième	4	05/02/2023
Troisième	6	12/02/2023
Quatrième	6	19/02/2023

2. Recherche des *Staphylococcus* spp.

Les analyses microbiologiques ont pour objectif de nous permettre d'avoir une idée sur le degré de contamination de nos échantillons par *Staphylococcus* spp. Pour cela, nous avons suivi la norme ISO 6888-1 légèrement modifiée.

2.1 Préparation de solution mère

Dans les conditions d'asepsie, on prélève 10 g de la viande de poulet à analyser en surface et en profondeur, qui ont été diluée dans 90ml d'eau physiologique stérile pour la préparation de la solution mère (10^{-1}). Ensuite, les flacons ont été homogénéisés afin d'assurer la dispersion des germes.



Figure N° 09 : préparation de solution mère (photographie prise au laboratoire).

2.2 Préparation de dilutions décimales

Une série de dilutions décimales a été réalisée dans de l'eau physiologie stérile. A partir de la solution mère, 1ml est introduite dans des tubes contenant 09ml d'eau physiologie à l'aide d'une micropipette (voir figure N°10).

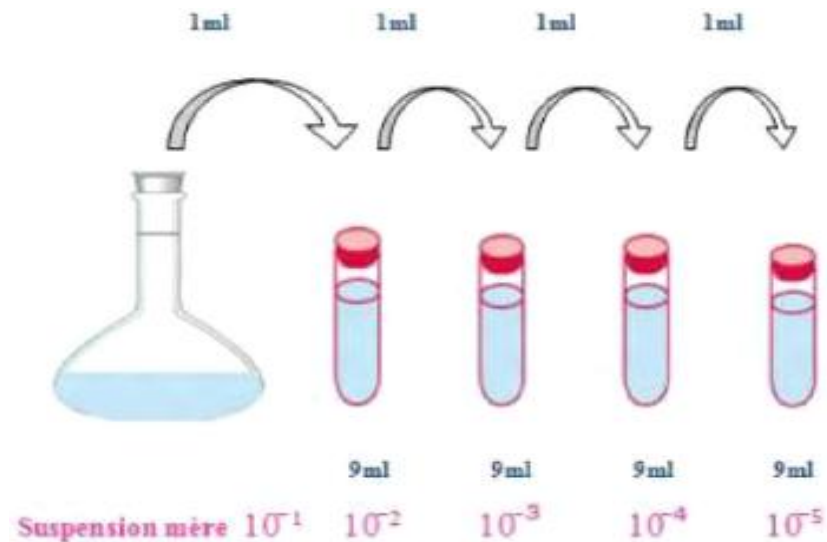


Figure N°10 : la préparation des dilutions décimales.

2.3 Isolement des *Staphylococcus* spp.

On prélève 0.1 ml de l'échantillon et des dilutions pour les transférer dans des boîtes de Pétri contenant déjà la gélose Baird Parker (additionné de 10% d'émulsion de jaune d'œuf et 0.1% de tellurite de potassium), et d'autres boîtes contenant la gélose Chapman bien séchée. On étale la dilution sur les surfaces des milieux à l'aide d'une pipette Pasteur en forme de râteau. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48h.



Figure N° 11 : Isolement des souches bactériennes sur les milieux de culture (photographie prise au laboratoire).

2.4 Purification des isolats

La purification des souches est réalisée par plusieurs repiquages successifs dans les conditions appropriées de chaque isolat. Le repiquage se poursuit jusqu'à l'obtention d'une culture homogène où toutes les colonies paraissent identiques entre elles et identique au type de bactéries initialement ciblées.



Figure N° 12 : purification des souches bactériennes sur le milieu de culture Baird Parker (photographie prise au laboratoire).

3. Identification des isolats

3.1 Examen macroscopique

Les colonies de *Staphylococcus aureus*, majoritairement isolées, apparaissent noires sur le milieu Baird Parker, (réduction du tellurite en tellurite noir), brillantes et convexes (1.5 à 2.5 mm de diamètre après 48 heures d'incubation) entourées d'une auréole d'éclaircissement (hydrolyse des protéines de jaune d'œuf) avec un liseré blanc opaque (hydrolyse des lécithines).

3.2 Examen microscopique par coloration de Gram

Une fois les bactéries fixées, nous avons commencé par ajouter le violet de gentiane sur le frottis pendant 1min. Après rinçage à l'eau distillée, on recouvre la lame avec le Lugol pendant 1min. On rince de nouveau à l'eau distillée puis à l'éthanol pendant 30 sec, immédiatement on rince à l'eau. Enfin, nous avons ajouté la Fuschine pendant 1min. On rince de nouveau à l'eau distillée et on sèche. On observe à l'objectif 100 à immersion. Au terme de la coloration de Gram, les bactéries dites « Gram Négatif » apparaissent roses tandis que les bactéries dites « Gram Positif » sont colorées en bleu foncé/violet.

3.3 Identification biochimique

En plus des caractères morphologiques, l'identification est aussi effectuée sur la base de quelques tests biochimiques tels que la catalase, la fermentation de mannitol et les galeries Api.

3.3.1 Test de la catalase

La catalase est une enzyme utilisée pour l'identification des bactéries. La catalase permet d'identifier certaines bactéries anaérobies de par son absence. Elle catalyse la transformation de peroxyde d'hydrogène en eau avec libération d'O₂ :



Une goutte d'eau oxygénée est déposée sur une lame, puis mise en contact avec une colonie bactérienne. La souche est dite catalase (+) si des bulles de gaz (O₂) apparaissent (effervescence).

3.3.2 Fermentation de Mannitol

"Chapman Agar" ou "Mannitol Salt Agar" est un milieu sélectif utilisé pour l'isolement des *Staphylococcus aureus*, il permet d'étudier la fermentation du mannitol. La souche est dite mannitol (+) s'il y'aura une transformation du couleur du milieu vers le jaune.

3.3.3 Plaques Api Staph

Pour l'identification de nos souches, nous avons utilisé les galeries Api Staph qui est un système standardisé comprenant 20 tests biochimiques miniaturisés. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. La lecture de ces réactions se fait à l'aide du Tableau de lecture, ou d'un logiciel d'identification (**Biomérieux, 2009**), Permettant une identification de l'espèce bactérienne et la détermination du biotype.

3.3.4 Test de la coagulase

La propriété de *Staphylococcus aureus* de provoquer la coagulation d'un plasma recueilli sur anticoagulant est un critère important de son identification. Elle est due à la sécrétion d'une enzyme thermostable ; la staphylocoagulase ou coagulase. Après avoir repiqué la souche pure dans du Bouillon BHIB et incubé à 37°C/24h, un petit volume de 0,5ml de cette culture est déposé dans un tube à hémolyse dans lequel nous avons introduit à l'aide d'une seringue le même volume de plasma de lapin. Les tubes sont incubés pendant 1 à 4h. La souche est dite coagulase (+) s'il y'aura formation d'un coagulum (prise en masse).

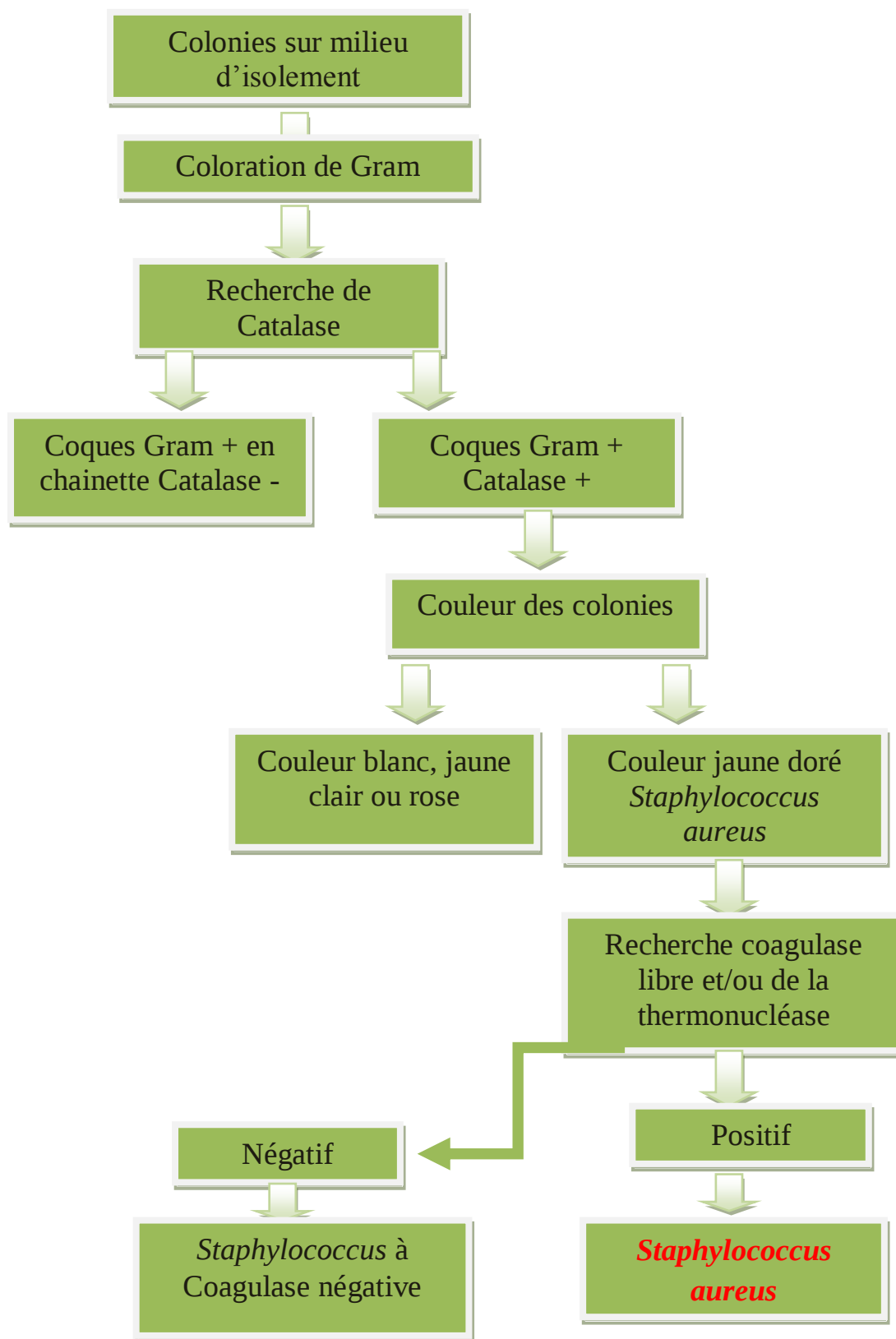


Figure N° 13 : Organigramme de l'identification de *Staphylococcus aureus*.

4. Mise en évidence de quelques facteurs de virulence

4.1 Test d'ADNase

L'ADNase est une enzyme capable d'hydrolyser l'ADN (Acide Désoxyribonucléique) en H₂O et nucléotides. Ce test est utilisé principalement pour différencier le *Staphylococcus aureus* des autres staphylocoques. A partir d'une culture pure, quelques colonies sont prélevées à l'aide d'une pipette Pasteur et sont ensemencées en stries sur la gélose à ADN. Après incubation à 37°C/24h, la révélation se fait en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl). La souche est considérée ADNase (+) si une zone claire apparait autour de la strie.

4.2 Test hémolyse sur gélose au sang

La gélose au sang est constituée d'une **gélose Columbia** été ajoutée 5% de sang. Elle convient à la culture de certaines bactéries exigeantes, et permet de mettre en évidence le pouvoir hémolytique de certaines bactéries. Préparé le mélange est coulé en boîtes de Pétri, L'ensemencement se fait par une anse de platine et Incubé à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

L'interprétation des résultats dépend de l'aspect du milieu autour des colonies qui lui-même dépend de 2 phénomènes :

- La lyse des hématies par les toxines bactériennes ou le milieu devient plus ou moins transparente, soit :
 - Une transparence totale dans le cas d'une hémolyse complète
 - Un léger trouble dans le cas d'une hémolyse partielle
- La digestion plus ou moins complète de l'hémoglobine libérée ou la couleur du milieu dépendra du niveau de digestion de l'hémoglobine :
 - Il retrouve la couleur d'origine de la base nutritive (jaune clair) quand la digestion est complète
 - Il présente une coloration verdâtre lorsque la digestion de l'hémoglobine est incomplète

4.3 Antibiorésistance

L'antibiorésistance de 18 souches de *Staphylococcus* spp. isolées a été réalisée conformément aux recommandations du CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute, 2020) et complétée et/ou comparée à celle de la CASFM (Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie, 2022), en appliquant la méthode de diffusion des disques d'antibiotiques sur la gélose Mueller-Hinton (MH). La résistance des souches a été testée vis-à-vis dix molécules d'antibiotiques listées dans le tableau 08.

Tableau 08 : Liste des molécules d'antibiotiques testés.

Familles	Antibiotiques	Abréviations	Charge en µg	Diamètres critiques (mm)	
				S	R
β-lactamines	Pénicilline G	P	1	≥ 26	< 26
	Céfoxitine	FOX	30	≥ 22	< 22
	Ampicilline	AMP	10	≥ 18	< 18
	Oxacilline	OX	5	≥ 22	< 21
	Amoxicilline	AML	30	≥ 18	< 18
Macrolides	Erythromycine	E	15	≥ 21	< 18
	Clindamycine	DA	2	≥ 22	< 22
Fusidanines	acide fusidique	FA	10	≥ 10	< 10
Glycopeptides	Vancomycine	VA	5	/	/
Fluoroquinolones	Ciprofloxacin	CIP	50	≥ 50	< 21

4.4 Évaluation de la capacité de formation de biofilm

4.4.1 La méthode du Rouge Congo Agar

La gélose Rouge Congo Agar est un milieu très convenable pour la détection des souches productrices de slime. Sur ce milieu les souches exprimant le PIA (Polysaccharide Inter-cellular Adhésion) donnent des colonies noires avec une surface rugueuse contre des colonies de couleur rouge et à surface lisse pour les souches PIA négatives (**Ziebuhr et al., 2001**). Les souches testées ont été ensemencées par stries en surface du milieu rouge Congo coulé en boîtes de Pétri. Les boîtes ont été alors incubées. La lecture a été faite après 24 heures à 37°C (**Jain et Agarwal, 2009**). Les souches productrices de slime donnaient des colonies noires à surface rugueuse contre des colonies rouges à surface lisse pour les souches non productrices. Les souches de phénotype variable donnaient des colonies à centre noir et à contour rouge ou à centre rouge et à contour noir (**Nasr et al., 2012**).

4.4.2 Formation de biofilm par les microplaques de titration à 96 puits en Polychlorure de Vinyle (PVC)

4.4.2.1 Principe

La technique des microplaques de titration au cristal violet, mise au point par **O'Toole et Kolter, (1998)** est utilisée pour étudier la capacité des souches à former le biofilm. Il s'agit d'une technique colorimétrique basée sur le principe que le cristal violet se lie de manière proportionnelle à la biomasse du biofilm (**Niu et Gilbert, 2004**). En effet, cette technique permet de visualiser les cellules qui s'attachent à la surface du PVC et se colorent en pourpre avec le cristal violet, alors que les surfaces abiotiques ne sont pas colorées (**Pratt et Kolter, 1998**).

4.4.2.2 Technique

5 mL de BHIB sontensemencés par les souches à tester de *Staphylococcus aureus* sont incubées à 37°C pendant une nuit. Chaque puits de la plaque est rempli par 200 µL de BHIB et 10 µL culture bactérienne. Les microplaques de titration sont incubées à 37°C pendant 24 h.



Figure N° 14: Les microplaques de titration (photographie prise au laboratoire).

Par la suite, les cultures sont éliminées et les puits sont lavés 2 fois par l'eau distillée stérile pour éliminer les cellules nonadhérées. Les plaques sont séchées à l'air libre pendant 15 min. Chaque puits est alors rempli par 250 µL de cristal violet à 0,1% qu'on laisse agir 15 min à température ambiante. Ensuite, les puits sont rincés plusieurs fois et laissés sécher à l'air libre pendant 15 min. 200 µL d'acide acétique à 33% sont versés dans chaque puits. On laisse agir l'acide pendant 30 min.

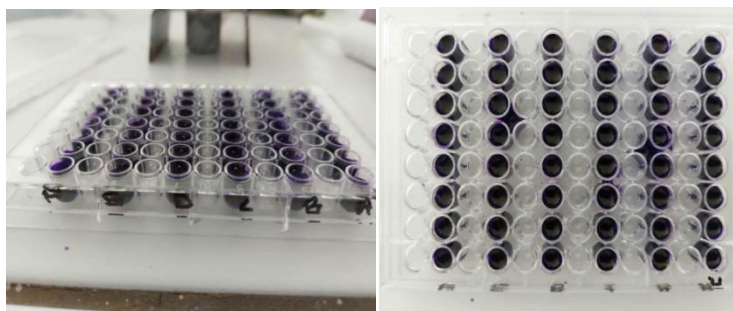


Figure N° 15: Les microplaques de titration ont rempli par 250 µL de cristal violet à 0,1% (photographie prise au laboratoire).

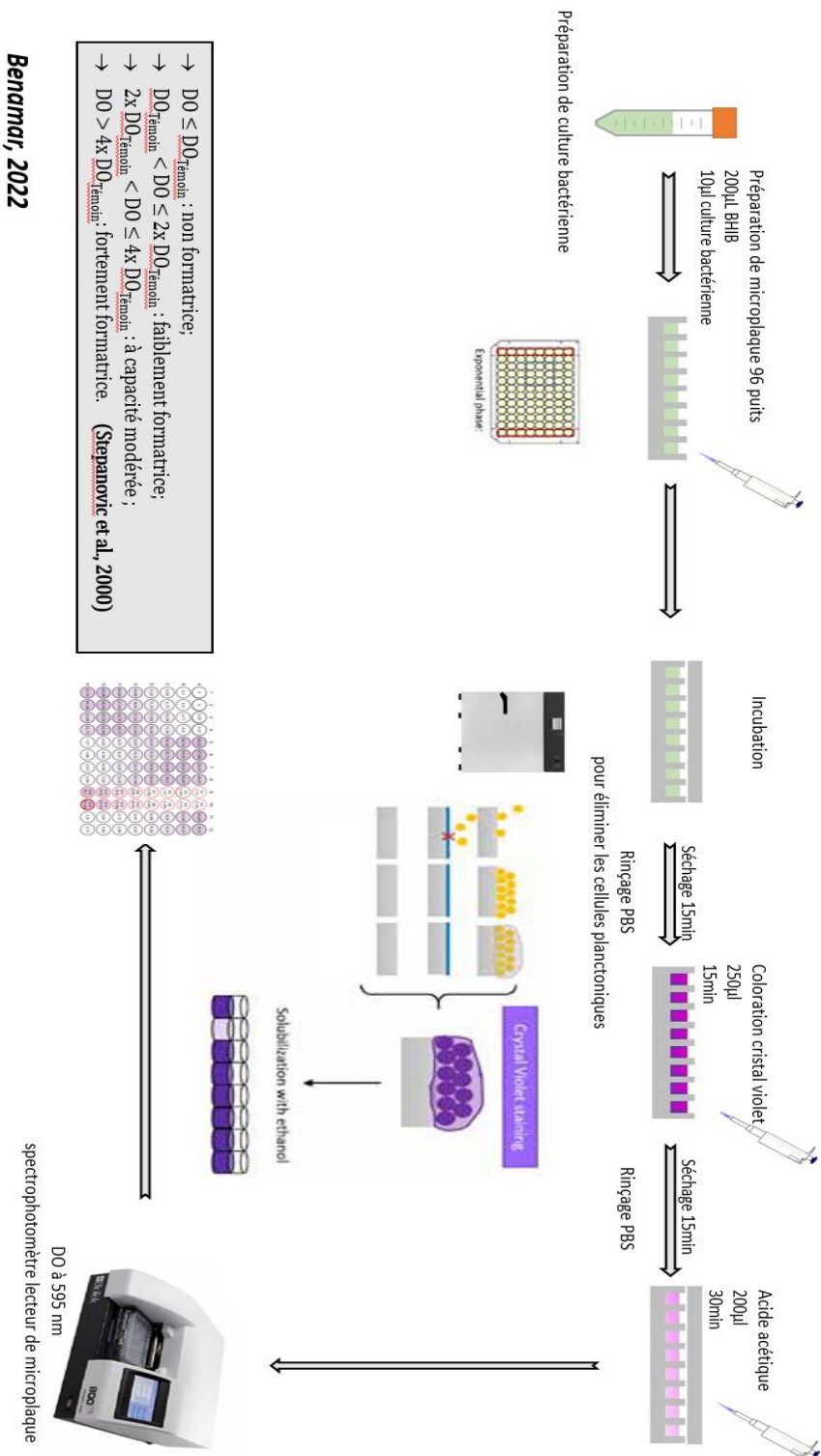


Figure N° 16: Les étapes de formation de biofilm par la microplaque 96 puits.

4.4.2.3 Lecture

La densité optique est mesurée à 595 nm à l'aide d'un spectrophotomètre lecteur demicroplaque (BioTek). Les souches sont alors classées comme suit (**Stepanovic et al., 2000**) :

- ❖ $DO \leq DO_{\text{Témoins}}$: souche non formatrice de biofilm.
- ❖ $DO_{\text{Témoins}} < DO \leq 2 \times DO_{\text{Témoins}}$: souche faiblement formatrice de biofilm.
- ❖ $2 \times DO_{\text{Témoins}} < DO \leq 4 \times DO_{\text{Témoins}}$: souche à capacité modérée.
- ❖ $DO > 4 \times DO_{\text{Témoins}}$: souche fortement formatrice du biofilm.



Figure N° 17: unspectrophotomètre lecteur de microplaque (photographie prise au laboratoire).

4.4.3 Évaluation de la capacité à former les biofilms sur les surfaces en Acier inoxydable, Titanium et Polyepoxyde

4.4.3.1 Préparation des surfaces

Ces surfaces solides sont utilisées pour examiner in vitro la capacité de nos souches à former des biofilms. Les surfaces sont nettoyées et stérilisées selon la méthode décrite par **Rossoni et Gaylarde (2000)**. Elles sont d'abord rincées à l'acétone (Merck, Germany) puis lavées par immersion dans de la soude à 1% (p/v) à pH = 13.2 pendant 1 h, elles sont alors rincées à l'eau distillée stérile puis mises à sécher. Ensuite les surfaces sont lavées avec l'alcool à 70% (v/v), rincées avec l'eau distillé stérile (EDS) et séchées pendant 2 heures à 60°C. Placées dans des boites de Pétri en verre, les surfaces sont autoclavées à 121°C pendant 20 minute.

4.4.3.2 Technique

Les surfaces sont placées dans des boîtes de pétri stériles. Un volume de 20 ml de la culture bactérienne est coulé dans les boîtes. L'incubation est faite à 37 °C pendant 72 h. Après l'incubation les surfaces sont rincées 3 fois avec l'eau distillée stérile pendant 10 secondes pour éliminer les cellules non adhérentes. Les biofilms, ainsi formés sont fixés par incubation à 80 °C pendant 30 minutes. Les surfaces sont ensuite immergées dans le cristal violet à 1 % (p/v), après 15 minutes, elles sont rincées avec l'eau et séchées à l'air. Une fois séchées, les surfaces sont placées dans 5 mL de l'acide acétique à 30% et agitées vigoureusement pendant 30 minutes. Pour une évaluation quantitative, la densité optique est mesurée à 545 nm comme étape finale.



Figure N°18: les surfaces acier inoxydable,titanium et epoxy.(Photographie prise au laboratoire).

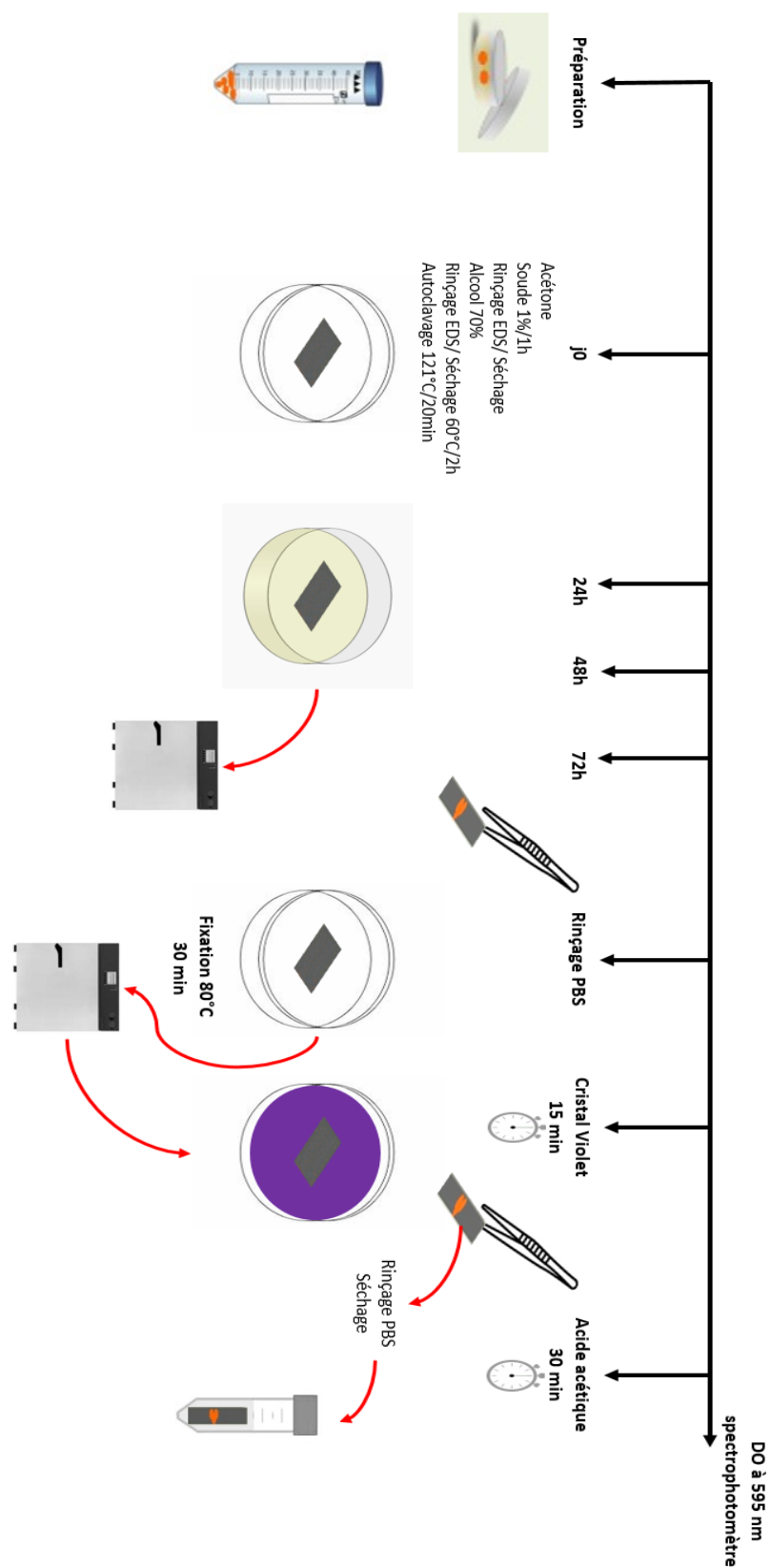


Figure N°19: Les étapes d'évaluation de la capacité à former les biofilms sur les surfaces acier inoxydable, titane et époxy.

5. Conservation des souches

La conservation a été réalisée sur gélose inclinée préalablementensemencé et incubé à 37°C pendant 24h. Les isolats seront ainsi conservés à 4°C pour une durée de quelque semaine.

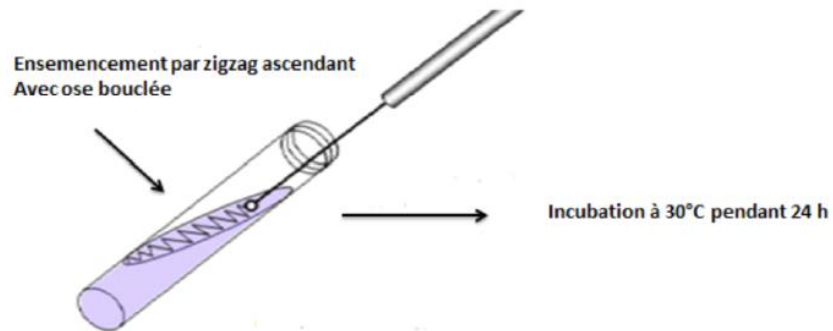


Figure N°20: Schéma de conservation des souches bactériennes.

Résultats et discussion

I. Analyses microbiologiques

I.1.Caractérisation des isolats bactériens :

Durant cette étude, les analyses microbiologiques que nous avons effectuées sur la viande de poulet commercialisée dans la ville de Laghouat ont porté sur la recherche des *Staphylococcus* spp. Après incubation des cultures, nous avons procédé à la détection des colonies caractéristiques. Les résultats montrent que la prévalence de *Staphylococcus* était de 70% (n=14/20). Cette prévalence dans la viande de poulet reste comme même importante par rapport aux référentiels nationaux et internationaux. **Benhassine et Bahri, (2020)**, ont trouvé que 100% des échantillons de la viande de poulet et du produit carnées prélevés dans la ville de Laghouat se sont révélés positifs avec une concentration moyenne de 4.07 log ufc/g. **Guergueb et al.(2014)**, ont trouvé que la prévalence de *S. aureus* dans les carcasses de poulet dans la région de Biskra est de 46.66%. D'après **Benamar, (2022)**,94.8% des échantillons de la viande de poulet prélevés dans la région de Tlemcen ont été confirmés positifs par *S. aureus*.

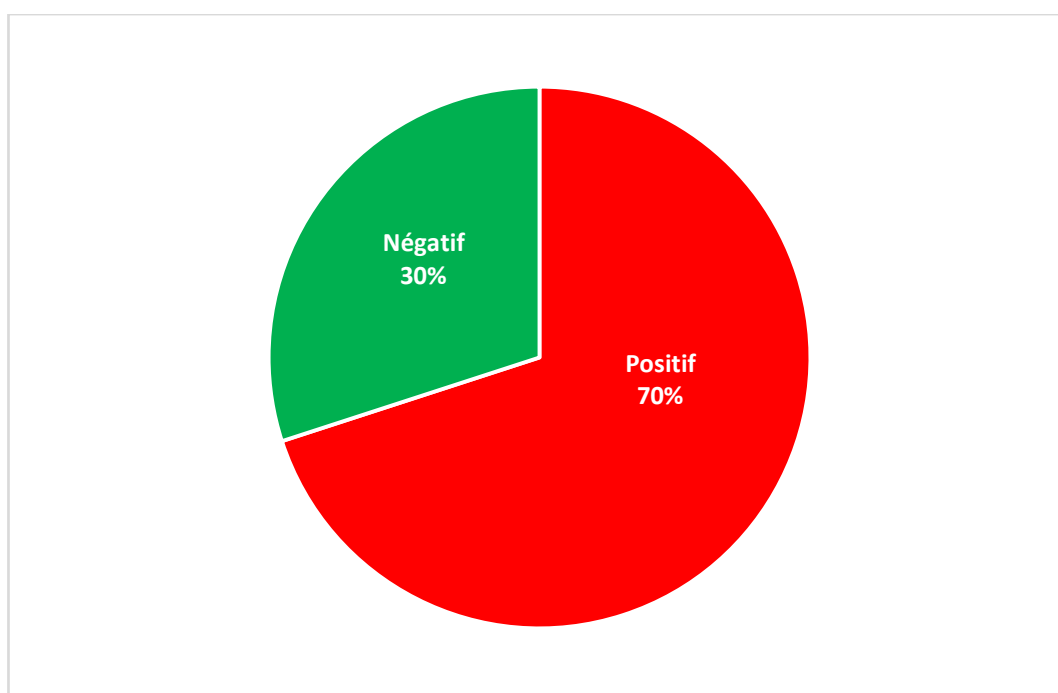


Figure n°21 : Prévalence de *Staphylococcus* spp. Dans la ville de Laghouat.

La présence de *S. aureus* montre une indication de contamination humaine et la possibilité de mauvaises pratiques d'hygiène (**Rosec et al., 1997**). En revanche, les Staphylococci sont saprophytes et leur principal habitat est la muqueuse nasale, la bouche, la gorge, les cheveux et la peau d'individus sains et sont abondants dans les coupes, les pustules,

et les abcès (**Bergdoll, 1989**). Dans l'environnement, les staphylocoques ont une dissémination facile et peuvent ainsi contaminer les aliments. Par conséquent, les poulets de chair peuvent être infectés par *S. aureus* par les éleveurs qui jouent un rôle essentiel dans la transmission de la bactérie pathogène lors de l'élevage ou durant le transport vers les abattoirs. De plus, la contamination de la viande de poulet peut se produire lors de la transformation de la volaille dans les abattoirs (échaudage, plumage et éviscération).

La présence de *S. aureus*, peut aussi indiquer une re-contamination par des matières premières ou des mauvaises conditions d'entreposage (**Pepe et al., 2006**). Les carcasses de poulet peuvent être exposées à une contamination croisée en utilisant de l'eau et des équipements insalubres qui peuvent augmenter l'opportunité d'une contamination par ces bactéries. De plus, les employeurs et les instruments utilisés pour découper les carcasses de volaille jouent un rôle important dans la contamination des carcasses et de ses produits par contact direct. A la température ambiante, *S. aureus* à une concentration entre 10^4 ufc/g est capable de produire une toxine, quelle que soit la concentration de NaCl. Cependant, d'autres chercheurs ont signalé que la production des toxines ne peut se produire qu'à des niveaux de population supérieurs à 10^5 ufc/g ou mL (**Dupre et al., 2019 ; Hennekinne et al., 2012 ; Bhatia et Zahoor, 2007 ; Balaban et Rasooly, 2000**). Ceci peut présenter un problème sérieux pour la santé des consommateurs si des actions correctives ne seront pas appliquées. De plus, les températures normales utilisées dans la cuisine ne peuvent pas détruire les toxines, et surtout que le consommateur ne pourra pas faire la différence, sur les plans aspect et goût, entre un aliment contenant l'entérotoxine staphylococcique et un autre qui n'en contient pas (**Aycicek, 2005 ; Bergdoll, 1989; Bryan, 1988**).

I.1.1. Identification macroscopique

Les isolats bactériens ont montré divers aspects culturels, en fonction du milieu de culture utilisé, permettant de suspecter leur appartenance au genre *Staphylococcus*. Par ailleurs, 39 colonies caractéristiques du genre *Staphylococcus*, ont été soumises à des tests biochimiques et 14 souches de *S. aureus* ont été confirmées.

I.1.1.1 Sur la gélose Baird Parker

Sur milieu Baird Parker, les colonies de *Staphylococcus aureus* apparaissent noires, de diamètre entre 0.5 et 2 mm entouré d'un halo clair.



Figure 22: Aspect macroscopique des colonies caractéristiques de *S.aureus* sur gélose Baird-Parker (Photographie prise au laboratoire).

I.1.1.2 Sur la gélose mannitol salt agar

Les colonies de *Staphylococcus aureus* apparaissent pigmentées et entourées d'une auréole jaune, arrondies à bords régulier de 1 à 2 mm de diamètre après 24 heures d'incubation à 37°C.

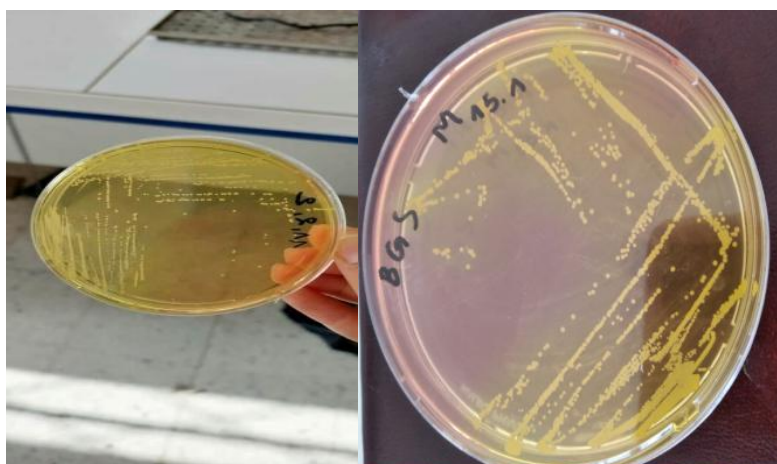


Figure 23: Aspect macroscopique des colonies présumé *S.aureus* sur gélose Chapman (mannitol) (Photographie prise au laboratoire).

I.1.2. Identification microscopique

L'identification microscopique des isolats à l'état frais et après coloration de Gram, nous a permis d'observer les bactéries sous forme des coques à Gram positif, immobiles, non capsulés et non sporulés, regroupés en diplocoque ou en amas, ou sous forme de grappe de raisin (**Figure 24**).

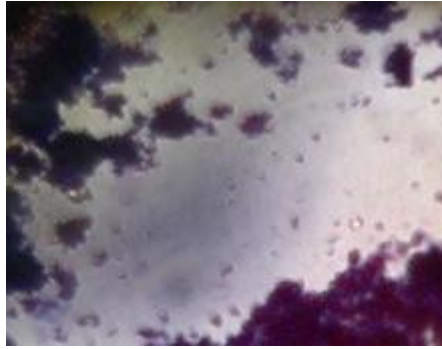


Figure 24: Observation microscopique après coloration de Gram
(Photographie prise au laboratoire).

I.1.3. Identification biochimique :

I.1.3.1 Test de catalase, et de coagulase

Les souches ont été assignées à l'espèce *S.aureus* par la mise en évidence de la catalase qui les différencie des Streptocoques et la coagulase libre qui les distingue des Staphylocoques à coagulase négative. La présence d'une catalase se traduit par l'observation d'une effervescence (**figure 25**).



Figure 25 : Mise en évidence de la catalase (photographie prise au laboratoire).

Alors que dans le test coagulase, certaines souches possèdent la capacité de coaguler le plasma Humain tandis que d'autres souches sont à coagulase négative. Parmi les 39 souches testées 18 entre elles sont présumés *Staphylococcus* (cocci, gram positif, mannitol positif, catalase positif), et ces derniers sont soumis encore au test coagulase dont 14 souches soit 77,77 % ont été productrices de la coagulase et 4 souches soit 22,22% ne produisent pas cet enzyme (figure 26, 27). Le tableau 10 synthétise les résultats obtenus vis-à-vis les tests biochimiques effectués.

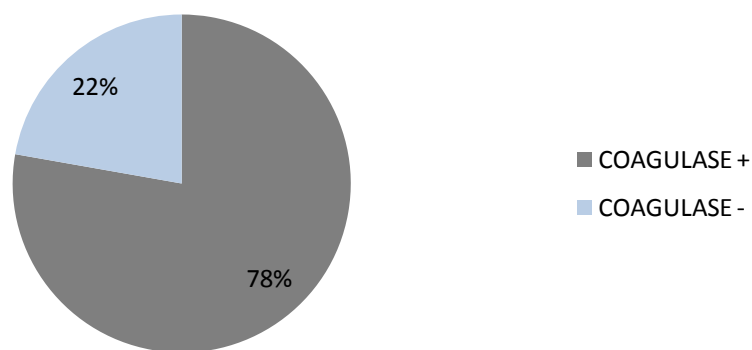


Figure 26.Fréquence de la coagulase



Figure 27. Résultats de la recherche de la coagulase (Photographie prise au laboratoire).

I.1.3.2 ApiStaph

L'identification par 03 galeries Api Staph a permis de mettre en évidence les principaux caractères biochimiques des souches de *Staphylococcus* spp. Après la révélation des plaques les résultats sont organisés dans le tableau 9. La souche 24-1-A a été identifiée comme *S. aureus*, 11-2-1 comme *S. epidermidis* et 11-2-2' comme *S. sciuri*.

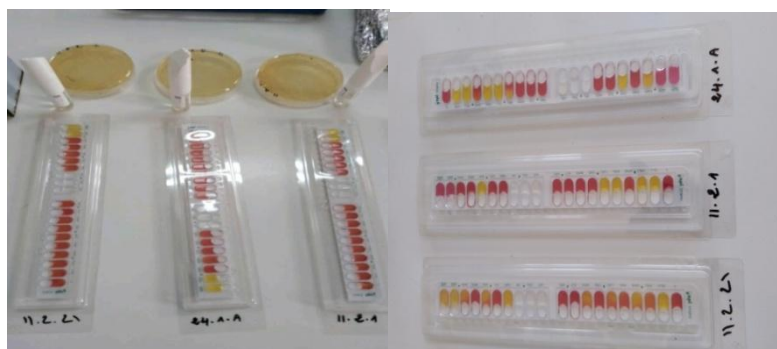


Figure 28 : Détection de *S. aureus* par API Staph (photographie prise au laboratoire).

Tableaux 09 : Résultat des plaques Api Staph.

S/N°	Espèce	Probabilité
24-1-A	<i>S .aureus</i>	0,966
11-2-1	<i>S.épidermidis</i>	0,980
11_2_2'	<i>S.sciuri</i>	0,917

Un large éventail d'espèces de *Staphylococcusa* été isolées de la viande de poulet, et *S. aureus* était généralement le plus souvent identifié (**Wieliczko et al., 2002 ; Tsai et al., 2015**). En outre, d'autres staphylocoques ont été identifiées avec des prévalences plus ou moins importantes, comprenaient *S. epidermidis*, *S. agnetis*, *S. capitis*, *S. caseolyticus*, *S. gallinarum*, *S.haemolyticus*, *S. hominis*, *S. intermedius*, *S. lentus*, *S. simulans*, *S. ureilyticus*, *S. xylosus*(**Bayyari et al., 1994 ; Awan et Matsumoto, 1998 ; Wieliczko et al., 2002 ; Al-Rubaye et al., 2015 ; Tsai et al., 2015 ; Ekesi et al., 2021**).

Reda et al. (2013) et **Amer et al. (2017)**, ont révélé que *S. aureus*, *S. epidermidis*, *S. haemolyticus*, *S. scui*ri, *S. xylosus*sont également impliqués dans les infections chez les poussinset leurs mortalités durant la première semaine. Par ailleurs, cela pourrait nous expliquer le résultat de l'identification menée dans cette étude et par extrapolation, le niveau des contaminations croisées constaté de la phase élevage jusqu'à le stade consommation.

A signaler, que la systématique actuelle a exclu *S. sciuri* du genre *Staphylococcus*, et la dénomination actuelle est *Mammaliicoccus sciuri*(**Madhaiyan et al. 2020**).

II. Mise en évidence de quelques facteurs de virulence

II.1. Test d'ADNase

Nos résultats révèlent que 72 ,22% (n=13/18) de nos souches produisent massivement la DNase. La désoxyribonucléase (DNase) est une enzyme produite par certaines souches de *Staphylococcus aureus*. Elle est capable de dégrader l'ADN, ce qui peut avoir plusieurs implications (**Otto, 2014**).D'une part, la DNase peut contribuer à la virulence de la bactérie en lui permettant de coloniser et de se propager plus efficacement dans l'organisme hôte. En dégradant l'ADN extracellulaire, la bactérie peut réduire la viscosité des sécrétions, facilitant ainsi sa dissémination et sa résistance aux mécanismes de défense de l'hôte (**Huseby et al., 2007**).D'autre part, la détection de la DNase peut être utilisée comme un test diagnostique pour identifier la présence de *Staphylococcus aureus* dans les échantillons cliniques. La production de DNase peut également être utilisée pour différencier les souches de *Staphylococcus aureus* des autres espèces de *Staphylococcus*. Par exemple, *Staphylococcus*

epidermidis, une espèce courante de staphylocoques présente sur la peau, produit peu, ou ne produit généralement pas de DNase (Tam et Torres, 2019). En résumé, la DNase produite par *Staphylococcus aureus* est une enzyme impliquée dans la virulence de la bactérie et peut être utilisée comme un moyen de diagnostic pour identifier la présence de cette espèce dans les échantillons cliniques.



Figure 29 : Test d'ADNase (photographie prise au laboratoire).

II.2 Test hémolysé sur gélose au sang

Parmi l'ensemble de nos souches testées, 27,77% (n=5/18) sont hémolyse positifs. *Staphylococcus aureus* produit différentes toxines, dont certaines sont capables de provoquer une hémolyse, c'est-à-dire la lyse des globules rouges présents dans le sang. Les toxines d'hémolyse produites par *Staphylococcus aureus* sont généralement appelées hémolysines. Ces hémolysines jouent un rôle important dans la virulence de la bactérie en permettant la destruction des globules rouges, ce qui peut faciliter la dissémination de la bactérie dans l'organisme (Lee et al., 2014). L'une des hémolysines les plus étudiées produites par *Staphylococcus aureus* est appelée alpha-toxine. Cette toxine est une protéine qui peut former des pores dans la membrane des cellules cibles, y compris les globules rouges, provoquant leur lyse et libérant l'hémoglobine. L'alpha-toxine est également capable de provoquer des dommages aux membranes des cellules hôtes et de stimuler une réponse inflammatoire (Wang et al., 2022). En plus de l'alpha-toxine, *Staphylococcus aureus* produit d'autres hémolysines, telles que la bêta-toxine, la gamma-toxine et la delta-toxine. Chacune de ces toxines a des mécanismes spécifiques d'action et peut contribuer à la virulence de la bactérie (Zapf et al., 2019). Il convient de noter que la production d'hémolysines peut varier entre les différentes souches de *Staphylococcus aureus*. Certaines souches produisent des niveaux élevés d'hémolysines, tandis que d'autres peuvent en produire de façon limitée ou pas

du tout. Il est important de noter que l'hémolyse n'est qu'un aspect parmi d'autres utilisés pour caractériser et identifier les espèces de *Staphylococcus* (Lee et al., 2014). Une identification précise des espèces nécessite souvent l'utilisation de méthodes supplémentaires, telles que la PCR ou le séquençage de l'ADN. En conclusion, la capacité de *Staphylococcus* à produire différentes formes d'hémolyse est un facteur important dans la caractérisation et l'identification des espèces bactériennes, et cela peut fournir des informations utiles sur leur potentiel pathogène.

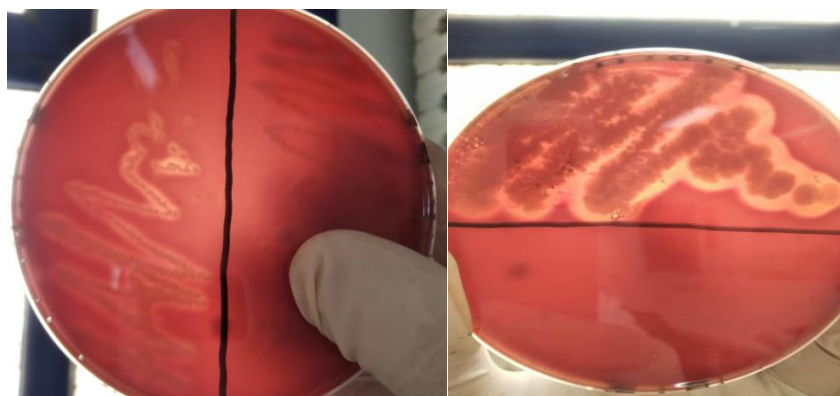


Figure 30 : *Staphylococcus aureus* Alpha et bêta-hémolytique sur gélose au sang (Photographie prise au laboratoire).

Tableaux 10 : Résultat d'identification biochimique.

S/N°	mannitol salt agar	DNase	Catalase	Coagulase	Hémolyse
24-1-A	+	+	+	+	-
24-1-B	-	+	+	-	-
22_1	+	+	+	-	-
22_2	-	-	+	-	-
21_1_A	-	-	-	-	-
21_1_B	+	-	+	+	β +
19_1	-	+	-	-	+
18_1	+	+	+	+	-
17_1	+	-	+	+	-
15_2_A	-	+	-	+	β +
1_1_B	+	-	+	-	-
15_1	+	+	+	+	-
14_2	-	+	+	+	-
11_1_A	+	-	+	-	α +
11_1_B	+	-	+	+	α +

10_1_A	-	+	-	+	β +
9_1_A	-	-	-	-	β +
9_1_B	-	-	-	+	-
14_1_A	-	-	-	+	β +
14_1_B	-	-	+	-	-
8_1_A	-	-	-	-	-
5_1	-	-	+	-	β +
5_2	-	+	-	-	-
4_1_A	+	-	+	+	-
4_1_B	-	-	-	-	-
4_2	+	+	+	+	α +
3_1_A	-	+	-	-	-
3_1_B	-	+	+	-	α +
11_2_2	+	+	+	+	-
9_4_1	-	+	+	-	β +
13_3_3	+	+	+	+	-
11_2_1	+	+	+	+	-
10_2_1	+	+	+	+	-
14_2_1	+	+	+	+	-
13_2_1	-	+	+	-	-
13_2_3	-	-	-	-	-
14_2_2	+	+	+	+	-
13_3_2	-	+	+	-	β +
11_2_2'	+	+	+	-	β +

II.3 Antibiorésistance

L'antibiogramme par la méthode des disques a été réalisé pour 18 souches de *Staphylococcus* isolées. Les diamètres des zones d'inhibition par l'antibiotique sont déterminés selon le référentiel du CLSI (2020). Le tableau 11 illustre les résultats obtenus.

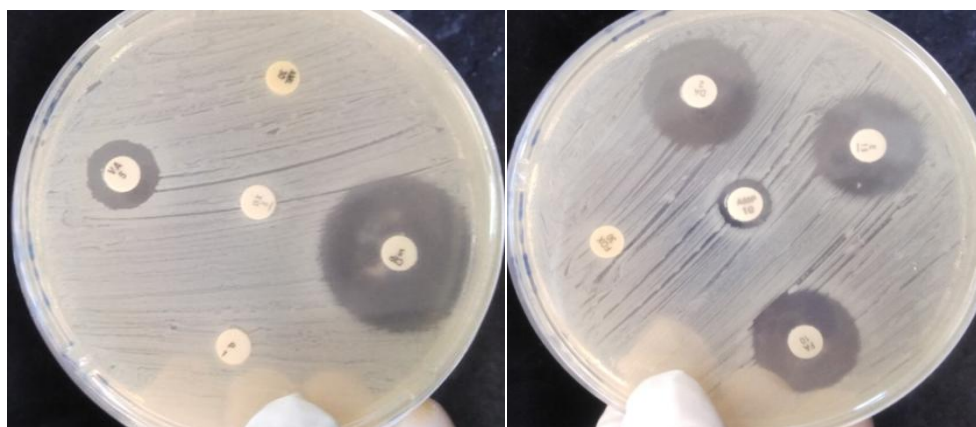


Figure 31 : Exemple de résultat d'antibiogramme d'une souche coagulase positif (14-2-2).

Tableau 11: Profil d'antibiorésistance des souches de Staphylocoque isolées.

Souches Antibiotiques	FA 10	FOX 30	E 15	DA 2	AMP 10	VA 5 /SAM 20	AML 30	CIP 50	P 1	OX 5
18_1	2,2	0	1,8	2,2	0,7	1,4	0	1,9	0	0
15_1	2,2	0	1,9	2,2	0,7	1,3	0	3	0	0
4_1_A	4	0	2,5	3,5	0	1,9	0	4,2	0	0
11_2_2	1,5	0	1,8	1,5	0	1,4	0	3,1	0	0
24_1_A	3	0	1,9	3	0	1,8	0	3,9	0	0
10_2_1	2	1	1,9	2,7	1,1	1,5	0	3	0	0
4_2	3,1	0	2,4	1,3	1,2	1,8	0	3,4	0	0
13_3_3	1,8	0	1,9	2	1	1,3	0	2,8	0	0
11_2_2'	2	0	1,7	2	0,7	1,2	0	2,7	0	0
14_2_2	1,8	0	1,8	2	0,9	1,2	0	2,7	0	0
11_2_1	1,9	0	2	1,9	0,8	1,2	0	2,6	0	0
11_1_B	1,7	0	2,1	0,7	0	1,5	0	3,6	0	0
11_1_A	1	1,1	1,3	0,4	0,9	1,5	0	3,4	0	1
21_1_B	1,1	0	3,3	3,5	0,7	2	0	4,1	0	0,7
14_2_1	2,2	0	2,5	2,3	0	2,2	0	3,1	0	0
17_1	2,2	0	1	3,6	0	1,7	0,7	3,5	1	0,8
22_1	1,6	0	2	0,7	0	1,2	0	3,3	0	0
1_1_B	1,8	0	2,2	0,8	0	1,9	0	3,3	1	0,8

L'étude de la sensibilité des 18 souches de Staphylocoque isolées vis-à-vis des antibiotiques mentionnée dans la figure 32, a montré 100% de résistance de l'ensemble des souches à la famille des B-lactamines, y compris la pénicilline, la

céfoxitine, l'ampicilline, l'amoxicilline et l'oxacilline. Ces résultats concordent avec celui rapporté par **Bounar-Kechih et al.(2018)**, qui ont enregistré une forte résistance de l'ordre de 92%, et avec celui obtenu par **Benrabia et al.(2020)**, qui ont annoncé une résistance totale. Cette résistance est principalement due à la production des bêta-lactamases à spectre étendu (BLSE) qui lui confèrent une résistance élevée à la plupart des bêta-lactamines thérapeutiques. La résistance vis-à-vis la céfoxitine confirme bien qu'il s'agit des souches résistantes à la méthicilline (**Djaidjai, 2015 ; SFM, 2017**). Aucune résistance n'a été enregistrée vis-à-vis de l'acide fusidique (0%). L'absence de résistance vis-à-vis de cette molécule pourrait s'expliquer par le fait que cette dernière est interdite en médecine vétérinaire et réservée uniquement en thérapeutique humaine. Pour la famille des macrolides 16,66 % de nos souches sont résistantes à l'erythromycine et 55,55 % sont résistantes au Clindamycine. Quant au Ciprofloxacine (5,55%) des souches sont résistants, (94,44%) sont intermédiaires, alors que aucune souche est sensible.

L'étude de **Mourabit et al.(2021)** dans le Maroca montré une résistance de 54% vis-à-vis des B- lactamines, 23.5% à l'erythromycin, et 17% mentionnée vis-à-vis la ciprofloxacine.

La résistance à la méthicilline chez *Staphylococcus aureus*, communément appelée SARM (*Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline), est un problème de santé publique majeur dans le monde entier, y compris en Algérie. Le SARM est une souche de *Staphylococcus aureus* qui présente une résistance aux antibiotiques de la classe des bêta-lactamines, y compris à la méthicilline et à d'autres antibiotiques de la même famille, tels que l'oxacilline (**Nandhini et al., 2022**).

Dans notre étude, toutes les *staphylococcus* spp . isolées étaient des SRM, un résultat similaire a été observé par plusieurs auteurs (**Person et al., 2009 ; Bounar-Kechih et al., 2018 ; Benrabia et al., 2020**). La fréquence élevée de la résistance aux antibiotiques des staphylocoques (coagulase- et coagulase+) est inquiétante, elle complique la prise en charge thérapeutique. Cette situation est la conséquence de la pression de sélection due au large usage des antibiotiques. De plus, ces résistances acquises du fait de leur déterminisme plasmidique ont un grand pouvoir de dissémination (**CASFM, 2012**). Selon l'OMS, plus de la moitié des antibiotiques produits dans le monde sont destinés aux animaux. L'usage systématique de ces antibiotiques en tant que promoteurs de croissance entraîne l'apparition de bactéries multi-résistantes qui peuvent se transmettre à l'homme directement ou via la chaîne alimentaire.

La résistance à la méthicilline chez *Staphylococcus aureus* (SARM) est également une préoccupation dans l'industrie avicole (**Nandhini et al., 2022**), y compris en Algérie. Les

antibiotiques, y compris la méthicilline, sont souvent utilisés dans l'élevage avicole pour prévenir et traiter les infections bactériennes chez les poulets. La gestion des infections à SARM implique souvent l'utilisation d'antibiotiques alternatifs, tels que la vancomycine ou d'autres agents actifs contre les souches résistantes. Cependant, certaines souches de SARM peuvent également développer une résistance à ces agents, ce qui rend le traitement plus difficile (Zhang et al., 2021). La transmission des souches de SARM dans l'industrie avicole peut se produire de plusieurs manières, notamment par contact direct avec des animaux porteurs ou par la consommation de viande contaminée. Les ouvriers d'élevage et les personnes en contact étroit avec les animaux peuvent également être exposés au SARM (Savariraj et al., 2020).

La présence de souches de SARM chez les poulets soulève des préoccupations en matière de santé publique, car cela peut contribuer à la transmission de ces souches résistantes à l'homme. Si des personnes consomment de la viande de poulet contaminée par des souches de SARM, cela peut potentiellement entraîner des infections résistantes aux antibiotiques. Il est essentiel de mettre en place des mesures de prévention et de contrôle pour réduire la prévalence du SARM dans l'industrie avicole en Algérie. Cela comprend la promotion de bonnes pratiques d'hygiène et de biosécurité dans les exploitations avicoles, la surveillance de la résistance aux antibiotiques chez les animaux, la réduction de l'utilisation excessive d'antibiotiques et le respect des réglementations en matière d'antibiotiques dans l'élevage avicole. De plus, il est important de sensibiliser les producteurs avicoles, les professionnels de la santé et le grand public à l'importance de la sécurité alimentaire, de l'utilisation rationnelle des antibiotiques et de la gestion appropriée des infections chez les animaux.

La surveillance épidémiologique du SARM est également essentielle pour suivre sa prévalence et sa résistance aux antibiotiques, ce qui permet de guider les stratégies de prévention et de traitement.

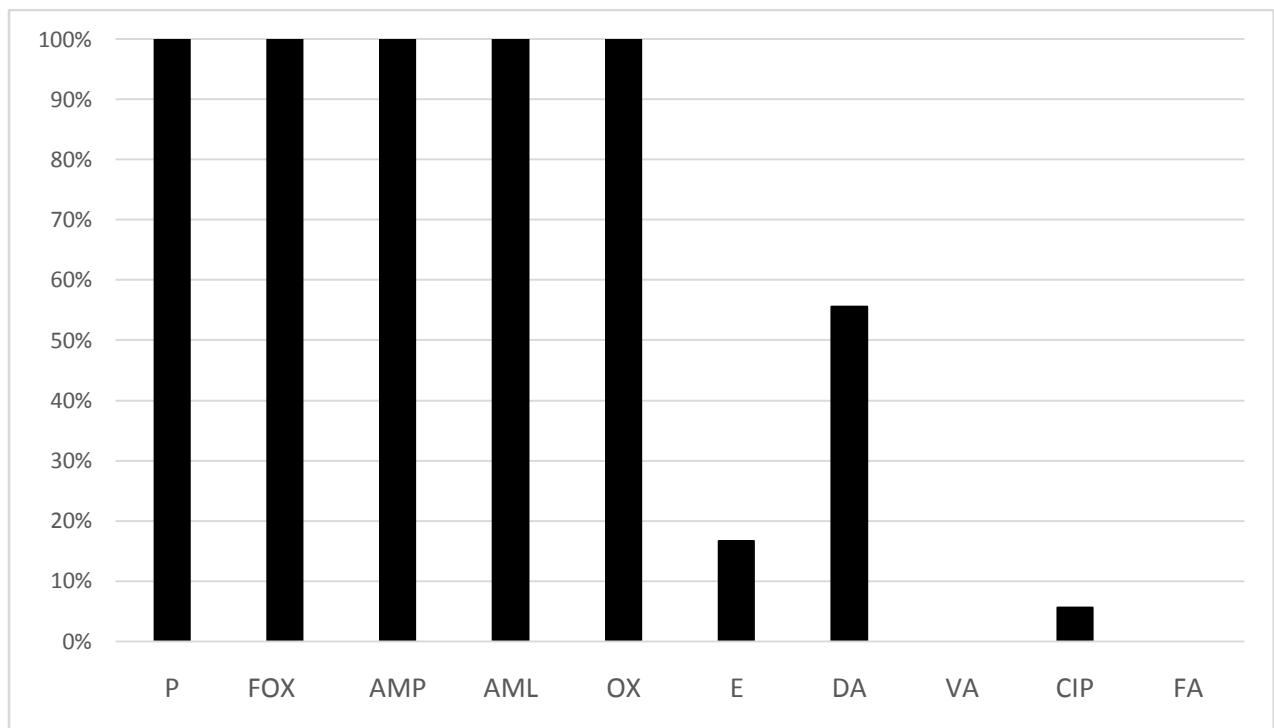


Figure 32 : Profil d'antibiogramme des souches de staphylocoques isolées de viande de poulet.

Tableau 12: Résistance des souches de Staphylocoques aux molécules d'antibiotiques testées (n=18).

Antibiotiques	Souches					
	Résistant		Intermédiaire		Sensible	
	Nombre	(%)	Nombre	(%)	Nombre	(%)
Pénicilline (P)	18	100%	0	0%	0	0%
Céfoxitine (FOX)	18	100%	0	0%	0	0%
Ampicilline (AMP)	18	100%	0	0%	0	0%
Amoxicilline(AML)	18	100%	0	0%	0	0%
Oxacilline (OX)	18	100%	0	0%	0	0%
Erythromycine (E)	3	16,66%	9	50%	6	33,33%
Clindamycine(DA)	10	55,55%	/	/	8	44,44%
Vancomycine(VA)	/	/	/	/	/	/
Ciprofloxacine (CIP)	1	5,55%	17	94,44%	0	0%
Acide fusidique (FA)	0	0%	0	0%	18	100%

II.4 Evaluation de la formation du biofilm

Plusieurs chercheurs ont étudié les stratégies employées par les micro-organismes pour produire des biofilms, Ils ont montré que les bactéries productrices du biofilm sécrètent certaines substances chimiques qui les protègent contre les désinfectants, les agents antimicrobiens et les systèmes immunitaires de l'hôte (**Saitou, 2009**).

Des méthodes classiques de la détection de la production du biofilm in vitro ont été établies, telles que la méthode quantitative de la microplaque 96 puits (**Freeman et al., 1989 ; Mathur et al., 2006**), et la méthode qualitative du Rouge Congo (**Mathur et al., 2006**).

II.4.1 Rouge Congo Agar (RCA)

Le Slime est défini comme la substance polymérique extracellulaire, également connu sous le nom d'exopolysaccharide (EPS), et est considérée comme un facteur de virulence important pour certains microorganismes telle que *staphylococcus aureus* (**Alcaraz et al., 2003**). 18 souches ont été soumises à l'évaluation de la production de slime sur la gélose au Rouge Congo. Le tableau 13 résume les résultats obtenus par cette technique.

La recherche de la production de Slime sur le milieu au rouge Congo a révélé que 11/18 soit (61,11%) des souches sont productrice de slime dont (38,88%) des souches de staphylocoque à coagulase positif et (22,22%) de staphylocoque à coagulase négatif.

Les résultats obtenus par la technique RCA sont en accord avec les observations de **Rachid et al. (2020)** qui ont conclu que le test RCA a montré que la production de slime était fréquente (70,1 %) et que les isolats provenant des aliments sont plus susceptibles d'être des producteurs de slime.

Tandis que plusieurs auteurs signalent que la méthode de Rouge Congo Agar semble être moins efficace pour détecter la formation du biofilm in vitro.

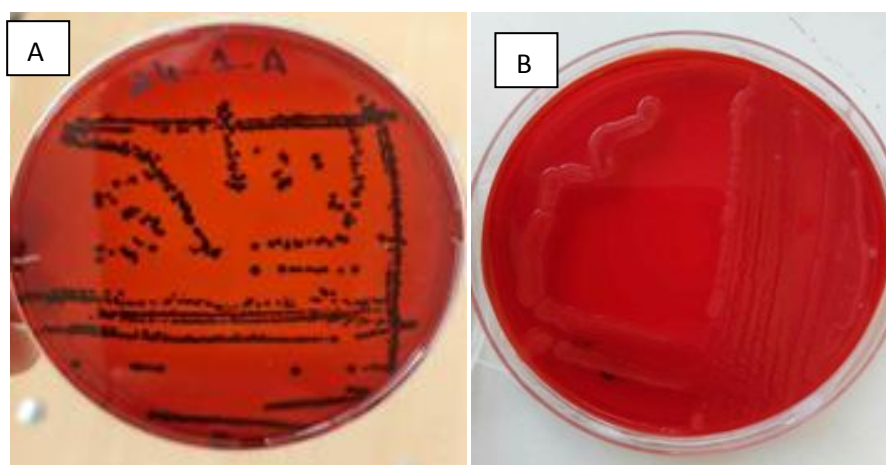


Figure 33 : Production de slime chez les staphylocoques isolés sur milieu Rouge Congo
A : formatrice de slime, **B :** non formatrice de slime (photographie prise au laboratoire).

Tableau 13 : Capacité à former le biofilm par la production de slime sur la gélose au Rouge Congo des souches bactériennes isolées à partir de viande de poulet cru.

Espèces	Productrice	Non productrice	Total
<i>Staph.à coagulase+</i>	7	7	14
<i>Staph.à coagulase-</i>	4	0	4
Total	11	7	18

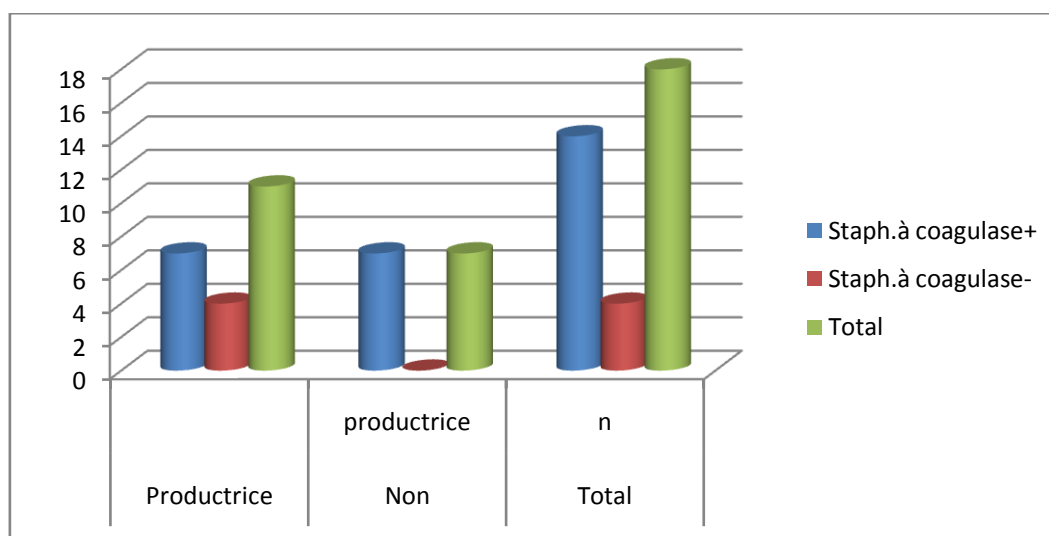


Figure34 : Histogramme représentant la formation de biofilm par la technique de (CRA).

III.4.2 Les microplaques de titration à 96 puits en Polychlorure de Vinyle (PVC)

12 souches de Staphylocoques isolées de la viande de poulet ont été testées quant à leur capacité à former un biofilm par la technique des microplaques de titration en PVC. Le tableau 14, résume les résultats obtenus pour ce test.

Les résultats obtenus montrent que sur les 12 souches de Staphylocoques testées, seulement 3/12 soit (25%) des souches sont fortement productrices de biofilm avec un taux de 16,66 % chez les souches à coagulase négatif 8,33% chez *S.aureus* (Tableau 14). Cinq souches dont 3 *S.aureus* et 2 SCN étaient classées comme faiblement productrice de biofilm, 2 modérées et 2 sont non formatrices de biofilm.

Tableau 14 : Capacité de souches bactériennes isolées de viande de poulet cru à former un biofilm par la technique des microplaques de titration à 96 puits (PVC).

Souches	Capacité de formation de biofilm				
	Négative (-)	Faible (+)	Modérée (++)	Forte (+++)	Total
Staph.à coagulase+	2	3	2	1	8
Staph.à coagulase-	0	2	0	2	4
Total	2	5	2	3	12

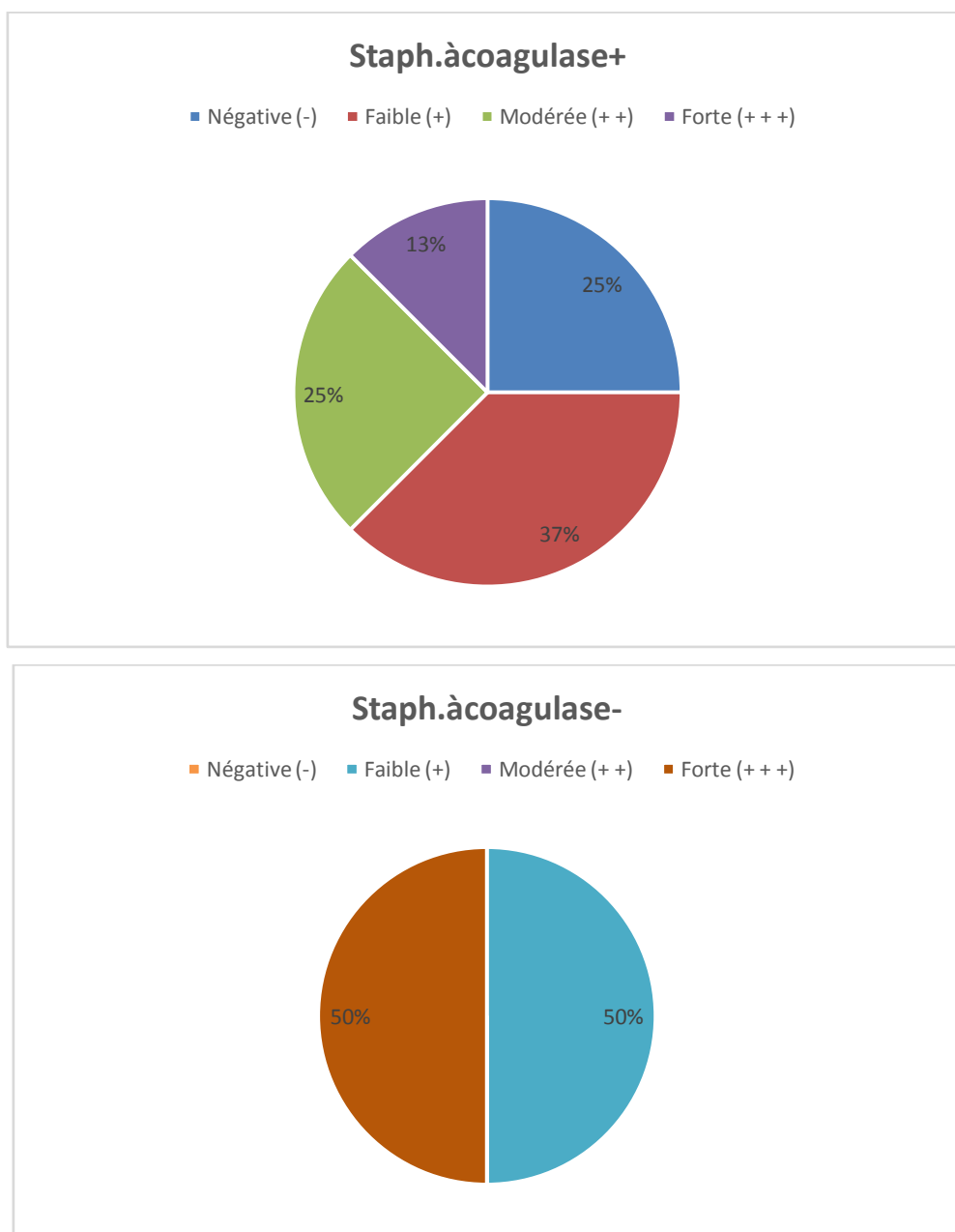


Figure 35 : Capacité de souches bactériennes isolées de viande de poulet cru à former un biofilm par la technique des microplaques de titration à 96 puits (PVC).

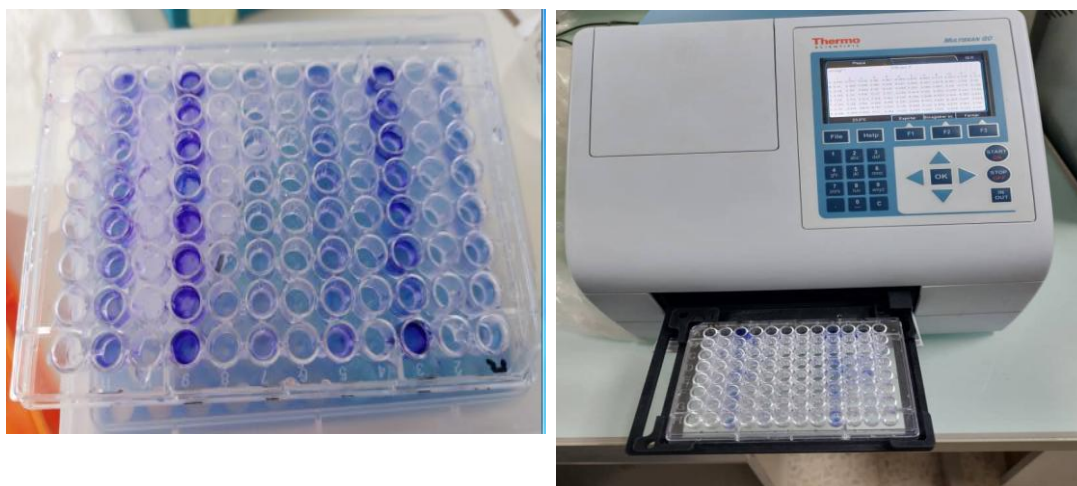


Figure 36 : Formation de biofilm par la technique des microplaques de titration à 96 puits (PVC) sur un spectrophotomètre lecteur de microplaque (photographie prise au laboratoire).

Les résultats de **Rachid et al.(2020)** ont montré que (87.5%), et (12,5 %) des souches étaient fortement adhérentes, et modérément adhérente respectivement ; de même, l'étude de **Thiran et al. en 2018** a montré que sur 24 souches de *Staphylococcus aureus* isolées de produits laitiers, 11 soit 45,8% ont été classés comme faibles producteurs de biofilms. Alors que **Rodriguez et al.(2018)** dans leur étude sur les *staphylococcus aureus* isolés à partir d'aliment d'origine animale (les produits laitiers, viande et produits carnés) ont été trouvés que seulement 6.13% des souches étaient fortement adhérentes, et 8.17% étaient modérément adhérente.

III.4.3 Évaluation de la capacité à former les biofilms sur les surfaces en acier inoxydable, titanium et Polyepoxyde

Une quantification de la biomasse des biofilms formés sur des surfaces en acier inoxydable, titanium et polyepoxyde a été réalisée par un protocole de coloration au Cristal Violet (CV) à 1%. La solubilisation du CV est faite par l'acide acétique à 33%. L'évaluation de la capacité de formation de biofilm après 72 h d'incubation des souches testées est exprimée par la valeur de la DO à 545 nm relativisée par celle du témoin (Voir tableau n°15).

Tableau n° 15 : Classement des souches *Staphylococcus* testées pour leur capacité à former le biofilm sur les trois surfaces.

Surfaces	Souches	Staph. à coagulase -	
	Staph. à coagulase +	11-2-2'	11-2-1
Acier inoxydable	Négative (-)	Négative (-)	Négative (-)
Titanium	Négative (-)	/	Modérée (++)
Epoxy	Négative (-)	Forte (+++)	Forte (+++)

Les résultats obtenus de la formation de biofilm en Acier inoxydable après 72 h d'incubation apparaissent négatifs, soit 100% non formatrice de biofilm qu'elle que soit pour les SCP ou bien les SCN. Par contre les souches testées pour leur pouvoir à former le biofilm sur une surface en Epoxy et après 72h montrent que 100% des staphylocoques à coagulase positif sont classées non formatrices de biofilm alors que les staphylocoques à coagulase négatif sont fortement formateurs de biofilm. Concernant la surface en Titanium, 100% des SCP sont toujours non formatrice de biofilm alors que les SCN sont modérément formatrice après 72h d'incubation (figures n°37).

Des études similaires ont été faites par **Avila-Novoa et al. (2018)**, qui ont étudié la formation de biofilm par *S. aureus* sur des coupons en acier inoxydable à 25 ° C pendant 8 jours. Le nombre des bactéries était entre 7.15–7.82 log UFC cm⁻².

D'après **Oliveira (2014)**, 42 % des 31 souches de *S. aureus* isolées d'environnements de traite étaient productrices de biofilm sur l'acier inoxydable. Il a été constaté que la cause d'une importante crise au Japon en 2000, qui a touché plus de 13 000 personnes, a été la production d'une toxine thermorésistante par la bactérie *S. aureus* survivre dans les canalisations d'une usine laitière.

Dans notre étude, Il est à signaler que les souches à coagulase positif n'avaient pas la capacité à former le biofilm en contact avec les trois types de surface tandis que les souches à coagulase négatif avérés modérément vers fortement formatrice de biofilm.

Ainsi, il est à noter que la formation de biofilm par les SCN était à son apogée dans la surface en Epoxy par rapport aux autres surfaces.

Les biofilms formés sur les surfaces en contact avec les aliments peuvent entraîner des problèmes de santé importants. Ils réduisent l'efficacité des désinfectants, entraînent des pertes économiques pour les industries, contaminent les aliments et peuvent augmenter le niveau de résistance aux antimicrobiens (**Giaouris, 2018**).

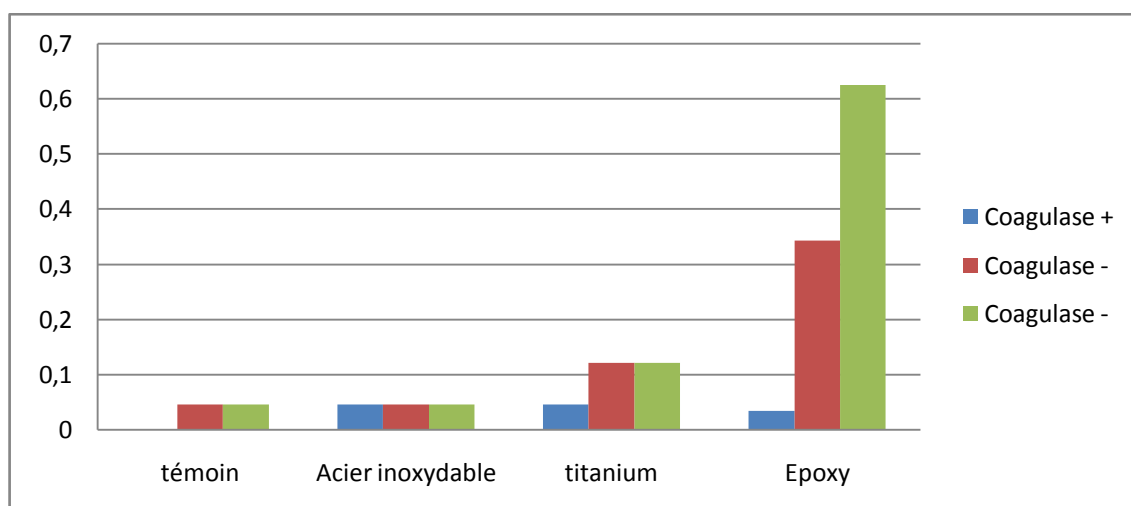


Figure n°37 : Quantification de la formation de biofilm des souches testées exprimée par les valeurs de la densité optique à 545 nm sur les trois surfaces(acier inoxydable, titanium et epoxy) après 72 heures d'incubation.



Figure n°38 : lespectrophotomètre utilisé dans l'expérimentation (photographie prise au laboratoire).

Conclusion général

Les produits de volaille sont souvent identifiés comme porteurs d'agents pathogènes d'origine alimentaire tel que *Staphylococcus aureus*. Ainsi, la présence de *S. aureus* dans les aliments constitue un risque important et peut être utilisée comme indice de contamination croisée et de mauvaises pratiques d'hygiène concernant le personnel.

Dans notre étude et par ordre de fréquence, les *Staphylococcus* spp. sont parmi les germes les plus fréquemment isolés dans la viande de poulet dont la prévalence était de 70%, dont, 78% sont des staphylocoques à coagulase positif, et 22% sont des Staphylocoques à coagulase négatif.

Cette incidence élevée de contamination reflète un défaut des bonnes pratiques d'hygiène. Lors de notre étude, nous avons effectivement constaté que les BPH (bonnes pratiques d'hygiène) n'étaient pas appliquées dans les points de vente visités. Ces manquements à l'hygiène lors du traitement de la viande de poulet sont susceptibles d'accroître sa contamination en *Staphylococcus* spp.

La mise en évidence des profils d'antibiorésistance des *Staphylococcus* spp. a révélé l'importance de la fréquence des souches multi-résistantes à divers antibiotiques spécifiquement aux bêta-lactamine. Les résultats obtenus ont montré que 100% des *Staphylococcus* spp sont SARM, résistantes à l'oxacilline, ampicilline, amoxicilline et céfoxitine. Pour cela une surveillance régulière de l'état de sensibilité du Staphylocoque par les autorités sanitaires est recommandée afin de limiter la diffusion des souches résistantes dans la communauté via la chaîne de production alimentaire. Cette antibiorésistance limitera les choix thérapeutiques aux vétérinaires comme aux médecins à l'encontre de formes cliniques des infections.

Les résultats de l'étude du potentiel de *Staphylococcus* à former des biofilms ont montré qu'il y a des souches capables de le faire et de produire le slime sur les différents matériaux testés (PVC, acier inoxydable, titanium et polyépoxyde). Ces différents matériaux sont les plus couramment utilisés –voir recommandés– dans le secteur agroalimentaire et médical, en raison de leurs propriétés spécifiques. La formation de biofilm rend plus difficile l'élimination des microorganismes des équipements, des ustensiles et des surfaces en contact avec l'aliment. Par conséquent, le transfert ultérieur aux aliments devient probable.

Plusieurs facteurs influencent la prolifération et la contamination de la viande de poulet et les pratiques de leurs manipulations ne semblent pas permettre la maîtrise de leurs qualités hygiéniques. Par conséquent, il y a un risque potentiel sur la santé publique dans la

région, surtout si le processus de cuisson est d'une efficacité insuffisante. Le risque de maladie d'origine alimentaire peut être réduit grâce à la mise en œuvre de pratiques basées sur les principes du système HACCP. Ce système reste le moyen le plus efficace d'y parvenir est de maintenir l'accent sur la prévention des risques et l'amélioration des processus.

À la lumière des résultats présentés, il est nécessaire de rappeler la nécessité d'appliquer les textes réglementaires en vigueur, à l'instar du décret exécutif 17-140, et l'arrêté interministériel du 31 janvier 2021 qui fixent les conditions et les modalités de la mise en œuvre du système HACCP.

Pour ce qui concerne nos perspectives, plusieurs axes peuvent être envisagés pour compléter et poursuivre ce travail :

- Compléter l'identification moléculaire de nos souches.
- Avoir une vue d'ensemble de la prévalence des souches toxigènes.
- Conduire des études minutieuses afin de comprendre et de contrôler l'augmentation de la résistance aux antibiotiques chez l'être humain et même chez les animaux.
- Étudier quantitativement la contamination croisée des SRM dans la viande de poulet.
- Approfondir nos recherches sur les biofilms en explorant des techniques qui permet d'inhiber l'adhésion bactériens sur la surface qui ont en contact avec les aliments serait également une voie à prospecter.

Références bibliographiques

A

- Abdallah, M., Benoliel, C., Drider, D., Dhulster, P., & Chihib, N. E. (2014).** Biofilm formation and persistence on abiotic surfaces in the context of food and medical environments. *Archives of microbiology*, 196(7), 453–472. <https://doi.org/10.1007/s00203-014-0983-1>
- Abdelrahman,(2015),** The Biosynthesis of Silver Nanoparticles by Moringa Oleifera and its Antibacterial Activity
- Abee, T., Nierop, M., Tempelaars, M., Zwietering, M., Moezelaar, R., & Voort, M. Van Der. (2011).** Germination and outgrowth of spores of bacillus cereus group members : diversity and role of germinant receptors. *Food microbiology*, 28(2), 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.015>
- Al-Bayati, S. (2017).** Antibacterial effect of ethanolic extract of allium sativum on biofilm forming staphylococcus aureus which cause folliculitis. *International journal of current microbiology and applied sciences*, 7(01), 1904–1913.
- Ali, A., Javaid, A., & Shoaib, A. (2017).** Gc-ms analysis and antifungal activity of methanolic root extract of chenopodium album against sclerotium rolfsii. *Planta daninha*, 35(0), 1–8. <https://doi.org/10.1590/s0100->
- Alloui, N., & Bennoune, O. (2013).** Poultry Production In Algeria: Current Situation And Future Prospects. *World's Poultry Science Journal*, 69(3), 613-620.
- Amer M, Elbayoumi K, Girh Z, Mekky H, Rabie N. 2017.** A study on bacterial contamination of dead in shell chicken embryos and culled one day chicks. *Int J Pharm Phytopharmacol Res.* 7:5–11.
- Appelbaum PC (2006).**MRSA the tip of the iceberg. *Clin Microbiol Infect.* 12: 3-10.
- Apua, Ivan Leguerinelb , Alfredo Palopc , Noémie Desriacb , Stella Planchona , Pierre Mafartb (2010),** Convergence of Bigelow and Arrhenius models over a wide range of heating temperatures
- Arnold, J. W., & Mitchell, B. W. (2002).** Use Of Negative Air Ionization For Reducing Microbial Contamination On Stainless Steel Surfaces. *Journal Of Applied Poultry Research*, 11(2), 179-186
- Aycicek, H., Cakiroglu, S., & Stevenson, T.H. (2005).** Incidence of Staphylococcus aureus in ready-to-eat meals from military cafeterias in Ankara, Turkey, *Food Control* 16 : 531–534

Ayé,M.(2015).mise en evidence du système de communication quorum sensing impliquant les ahls des bactéries marine isolés de la méditerranée. Thèse de doctorat de l'université de toulon.

B

Bazaka, K., Jacob, M.V., Crawford, R. J., Crawford,E.,& Ivanova, P. (2012). Efficient surface modification of biomaterial lto prevents biofilm formation and the attachment of microorganisms. Applied microbiology and biotechnology, 95: 299-311.

Behme, R. J., Shuttleworth, R., McNabb, A., & Colby, W. D. (1996). Identification of staphylococci with a self-educating system using fatty acid analysis and biochemical tests. Journal of Clinical Microbiology, 34(12), 3075-3084.

Benamar, I. (2022). Contribution à l'évaluation du risque sanitaire lié à la consommation du döner kebab dans la région de Tlemcen (Algérie). (Thèse de Doctorat).

Benhassine, A. et Bahri, K. (2020). Etude de l'occurrence et caractérisation de la thermorésistance des souches de *Staphylococcus aureus* isolées des produits carnés dans la ville de Laghouat. Mémoire de Master en Microbiologie appliquée. Univ. Laghouat.

Bergdoll, M.S. (1989). *Staphylococcus aureus*, In: **M.P. Doyle (Ed.)**, Foodborne Bacterial Pathogens, Marcel Dekker, New York, 1989, pp. 463–523.

Betraoui, M. (2021).Algerieeco : l'algerie consomme 50000 tonnes de viande blanche par mois, disponible a : <https://www.algerie-eco.com/2021/01/27/betraoui-lalgerie-consomme-50-000-tonnes-de-viandeblanche- par-mois/>

Bhakdi, S., Trantum-Jensen, J.(1991). Alpha- Toxine of *Staphylococcus aureus*. Microbiol Rev, 55, 733-751.

Bisognano ,C.(2000).Impact de la résistance antibiotique et des fluoroquinolones sur l'adhérence à la fibronectine de *Staphylococcus aureus* :étude fonctionnelle et mécanismes moléculaires. Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Genève pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences, mention biologie

Boisset, S., Vandenesch, F. (2010). Les facteurs de virulence autres que les entérotoxines. In. *Staphylococcus aureus*. Le Loir, Y., Gautier, M. Tec & Doc, Lavoisier. France. p 244-268

Boudechicha H-R (2014) : *khliia ezir*, un produit carne traditionnel algerien : preparation, caracterisation microbiologique, physico-chimique et sensorielle, memoire de magister, universite de constantine 1,135p.

Bourgeois C.M., Mescle J.F. & Zucca J., 2008. Microbiologie alimentaire : aspects microbiologiques de la securite et de la qualite des aliments. Tome i .editions lavoisier, p241- 251.

Bourgeois, C. M. & Larpent, Y.P. (1996). Microbiologie alimentaire. Tome2 coordonnateurs 2ème ed. Lavoisier

Bourgeois, C-M, Mescle-J-F, Et Zucca-J (1988) : microbiologie alimentaire : aspect de la qualite et de la securite alimentaire, technique et documentation ,1ere ed, lavoisier, paris.

Bouyahya, a., dakka, n., et-touys, a., abrini, j., & bakri, y. (2017). Medicinal plant products targeting quorum sensing for combating bacterial infections. Asian pacific journal of tropical medicine. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.07.021>

Brackman, G., Coenye, T. Quorum sensing inhibitors as anti-biofilm agents. Curr. Pharm. Des , 2015 , vol. 21, pp. 5–1

C

Cadieux B, Vijayakumaran V, Bernardis M.A, McGavin M.J, &Heinrichs D.E. (2014).Role of Lipase from Community-Associated Méthicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*

Carolyn B, Ibberson A, Crystal L, Jones B, Shweta Singh B, Matthew C, Wise B, Mark E, Hart C, Daniel V, Zurawski B, Alexander R, & Horswill. (2014). *Staphylococcus aureus* Hyaluronidase is a CdxA-Regulated Virulence Factor

Cartier P., (2007).Le point sur la qualité des carcasses et des viandes de gros bovins, compte rendu final n° 17 0532 022, service qualité des viandes, département techniques d'élevage et qualité, p 12, 58,59.

Chaalal, W. (2019).Thèse De Doctorat. Caractérisation moléculaire des souches de *Staphylococcus aureus* isolées à partir de denrées alimentaires. University D'Oran 1 Ahmed Ben Bella.

Chan, P. F. And S. J. Foster. (1998). Role of SarA in virulence determinant production and environmental signal transduction in *Staphylococcus aureus*. J Bacteriol **180**:6232-6241.

Chavakis, T., Wiechmann, K., Preissner, K.T., Herrmann, M. (2005). *Staphylococcus aureus* interactions with the endothelium: the role of bacterial secreted expanded repertoire adhesive molecules' (SERAM) in disturbing host defense systems. Thrombosis Hemostasis, 94 (2), 278-285.

Chung, J., Goo, E., Yu, S., Choi, O., Lee, J., Kim, J.(2011), Small-molecule inhibitor binding to an n-acyl-homoserine lactone synthase. Proc. Natl. Acad. Sci. U.s.a , vol. 108, pp. 12089–12094 .

C.I.V(2010): valeurs nutritionnelles des viandes ,paris.

Clarke, S.R., Foster, S.J. (2006). Surface adhesins of *Staphylococcus aureus*. Adv Microb Physiol, 51, 187-224.

Codex alimentaire, (2003) : glossaire de termes et definitions (pour les residus des medicaments veterinaires dans les aliments), cac/oms 5-1993, amende en 2003, fao/oms, pp1-4.

Codex alimentaire, (2015) : norme pour le luncheon meat, codex stan 89-1981, fao/oms.

Coibion-I (2008) : acquisition des qualites organoleptiques de la viande bovine adaptation a la demande du Consommateur, p 7 – 25.

Coughlan, Im., cotter, pd., hill, c ., alvarez-ordóñez , a . New weapons to fight old enemies: novel strategies for the (bio) control of bacterial biofilms in the food industry. Front. Microbiol, 2016, vol. 7, pp.1641.

D

Da silva, e., de martinis, e. Current knowledge and perspectives on biofilm formation: the case of *listeria monocytogenes*. Appl. Microbiol. Biotechnol , 2013.

Dachy a., 1993. Contribution a l’etude de la contamination bacterienne superficielle descarcasses d’agneaux .these de doctorat veterinaire, ecole nationale veterinaire de toulouse, pages : p15-3

De Jonge BLM and Tomasz A. (1993). Abnormal peptidoglycan produced in a methicillin-resistant strain of *Staphylococcus aureus* grown in the presence of methicillin : functional role for penicillin binding protein 2a in a cell wall synthesis. *Antimicrob Agents Chemother* .37 : 342-346.

Dinges, M.M., Orwin, P.M., Schlievert, P.M.(2000). Exotoxins of *Staphylococcus aureus*. Clin Microbiol Rev, 13, 16-34. doi :10.1128/CMR.13.1.16-34.

Dong, y h., wang, l h., xu, j l., zhang, h b., zhang, x f., zhang, l h. Quenching quorum-sensing-dependent bacterial infection by an n-acyl homoserine lactonase. Nature , 2001 , vol.411, pp.813–817.

Dosti, b., guzel-seydim, z., greene, ak. Effectiveness of ozone, heat and chlorine for destroying common food spoilage bacteria in synthetic media and biofilms. Int. J. Dairy technol , 2005 , vol. 58 (1), pp. 19-24.

Durán, S. P., F. H. Kayser, and B. Berger-Bächi. (1996). Impact of sar and agr on methicillin resistance in *Staphylococcus aureus*. FEMS Microbiology Letters **141** :255-260.

Dupre, J.M., Johnson, W.L., Ulanov, A.V., Li, Z., & Wilkinson, B.J. (2019). Transcriptional profiling and metabolomic analysis of *Staphylococcus aureus* grown on autoclaved chicken breast. *Food Microbiology* 82 (2019) 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.004>

F

Faostat. (2015). Production mondiale de viandes, disponible à : www.faostat.fao.org

Fauchere JL and Avril JL (2002). Bactériologie générale et médicale. ellipses, Paris. 213-217 .

Favier, Ireland-rippert, Toque, Feinberg, (1995) : repertoire general des aliments — table de composition, 2e edition, ed tec & docinra, paris, france.

Ferry, T. Toxines super-antigéniques et état de choc. Sympo Staph ; 2008.

Fisher JF, Meroueh SO and Mobashery S. (2005). Bacterial resistance to beta-lactam antibiotics: compelling opportunism, compelling opportunity. *Chem. Rev.* 105: 395- 424.

Fister, s., robben, c., witte, a k., schoder, d., wagner, m., rossmanith, p. Influence of environmental factors on phage–bacteria interaction and on the efficacy and infectivity of phage p100. *Front. Microbiol* , 2016 , vol 7 , pp.1152.

Flemming, h. C. (2011). The perfect slime. *Colloids and surfaces b: biointerfaces*, 86(2), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.04.025>

Fong , d ., prabjit , b . Nettoyage, désinfection et stérilisation dans les établissements de services personnels daniel . Centre de collaboration nationale en santé environnementale ? 2012 , pp. 2 .

Fournaud j., gaffino g., rosset r. & jacquet r., 2000. Contamination microbienne des carcasses a l'abattoir. *Ind. Aliment. Agric.*, 95, 4 :273- 282

Frenot m., vierling e. (2001) : biochimie des aliments : dietetiques du sujet bien portant. Biosciences et techniques. Ed ; doin, paris.

G

Galié , s ., garcía-gutiérrez , c ., miguélez , em ., villar , c j., lombó , f . Biofilms in the food industry: health aspects and control methods .*Frontiers microbiol* , 2018 , vol 9 , 898.

- Gandemer g. (1992)** : les lipides de la viande : vers une estimation précise de leurs apports nutritionnels dans l'alimentation de l'homme ; in : « substances alimentaires et traitements technologiques ».
- Gilmore KS, Gilmore MS and Sahn DF (2008)**. Methicillin Resistance in *Staphylococcus aureus* .291-312. In R. G. Wax, K. Lewis, A. A. Salyers, and H. Taber (ed.), Bacterial Resistance to Antimicrobials, Second ed. CRC Press, Boca Raton.
- Gingichashvili, s., duanis-assaf, d., shemesh, m., featherstone, j. D. B., feuerstein, o., &steinberg, d. (2017)**. Bacillus subtilis biofilm development– a computerized study of morphology and kinetics. Frontiers in microbiology, 8. Doi:10.3389/fmicb.2017.02072
- Gómez, M.I., O'Seaghdha, M., Magargee, M., Foster, T.J., Prince, A.S. (2006)**. *Staphylococcus aureus* protein A activates TNFR1 signaling through conserved IgG binding domains. J Biol Chem, 281(29) : 20190-6.
- Gordon, R.J., Lowy F.D.(2008)**. Pathogenesis of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. Infection.Clinical Infectious Diseases ; 46 :S350-9.
- Grace, D., Alexandra, F. (2018)**. *Staphylococcus aureus*—A foodborne Pathogen: Epidemiology, Detection, Characterization, Prevention, and Control: An Overview. In *staphylococcus aureus*. Elsevier, P3-10.
- Guergueb, N., Alloui, N., Ayachi, A., & Bennoune, O. (2014)**. Effect of slaughterhouse hygienic practices on the bacterial contamination of chicken meat. Scientific Journal of Veterinary Advances, 3(5), 71-76.
- Guignard BJ, Entenza M and Moreillon P (2005)**. Beta-lactams against methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. Curr. Opin. Pharmacol. 5:479-489.
- Guinta, a. R. (2010)**. New approaches for controlling biofilm formation. University of new jersey.
- Guiraud j.p., 2003**. Microbiologie alimentaire. Dunod – ria. P696, 144.
- Gutiérrez , tm . Antibiofilm enzymes as an emerging technology for food quality and safety. Buenos aires, argentina. Enzymes in food biotechnology, 2019, 324p.**
- H**
- Hamedi, i. (2015)**.évaluation de la formation de biofilm des souches d'acinetobacter baumannii isolées de dispositifs médicaux chu de tlemcen .thèse de doctorat de l'université de abou bekr belkaid tlemcen.

Hataway S. 2006. Bonnes pratiques pour l'industrie de la viande.

Hathroubi, s. (2016). Rôle des polysaccharides de surface dans la formation des biofilms et rôle du biofilm d' *actinobacillus pleuropneumoniae* dans la pathogénicité. Université de montréal.

Heininger, U., Datta, F., Gervais, A., Schaad, U. B., Berger, C., Vaudaux, B., ... & Pigs/Mrsa Study Group. (2007). Prevalence Of Nasal Colonization With Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* (MRSA) In Children A Multicenter Cross-Sectional Study. *The Pediatric Infectious Disease Journal*, 26(6), 544-546

Heloísa, m., ângelo, j., rita, d. C., egypto queiroga, ana ,c., vieira, d. C, isabella, m., b.,(2018)

Hennekinne J. (2009). Thèse Doctorat. Nouvelles approches pour la caractérisation des toxi infections alimentaires à staphylocoques à coagulase positive. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Agro Paris Tech. 183p.

Hinton m.h., hudson w.r. & med g.c., 1998. The bacteriological quality of british beef carcasses sampled prior to chilling, *meat sci.*, 50, p265-271.

Holtfreter, S., Broker, B.M.(2005). *Staphylococcal* superantigens: do they play a role in sepsis. *Arch Immunol Ther Exp (Warsz)*, 53(1), 13-27.

Hu, D.L., Nakane, A. (2014). Mechanisms of *staphylococcal* enterotoxin-induced emesis. *Eur J Pharmacol*, 722, 95- 107

Hu, Y., Meng, J., Shi, C., Hervin, K., Fratamico, PM., Shi, X.(2013). Characterization and comparative analysis of second thermonuclease from *Staphylococcus aureus*. *Microbiol Res*, 167, 174-182.

Huseby, M., Shi, K., Brown, C. K., Digre, J., Mengistu, F. & Earhart, C. A. (2007). Structure and biological activities of beta toxin from *Staphylococcus aureus*. *Journal of bacteriology*, 189(23), 8719-8726.

I

Iacumin, I., manzano, m., comi, g. Phage inactivation of *listeria monocytogenes* on san danielle dry-cured ham and elimination of biofilms from equipment and working environments. *Microorganisms*, 2016, vol. 4, pp.4.

K

- Kaplan, j.b. (2010)** biofilm dispersal: mechanisms, clinical implications, and potential therapeutic uses. J dent res, 89:205–218.
- Karam O. (2004).** Sepsis à "*staphylocoque epidermidis*" chez les grands prématurés : situation à Genève, entre 1995 et 2002. Thèse de doctorat:Université de Genève. 41P.
- Karatan, e., & watnick, p. (2009).** Signals, regulatory networks, and materials that build and break bacterial biofilms. Microbiology and molecular biology reviews, 73(2), 310–347. Doi:10.1128/mmbr.00041-08
- Katayama, Y., Baba, T., Sekine, M., Fukuda, M., Hirmatsu, K. (2013).** Bêta- Hemolysine Promotes Skin Colonization by *Staphylococcus aureus* .J Bacteriol, 195.1 194-1203.doi :101128/JB.01786-12.
- Khardre, ma., yousef, ae., kim, jg.** Microbiological aspects of ozone applications in food . A review. J. Food. Sci , 2001 vol. 66 (9), pp. 12421252.
- Kornblum, J., B. N. Kreiswirth, S. J. Projan, H. Ross, and R. P. Novick. (1990).** Agr: A polycistronic locus regulating exoprotein synthesis in *Staphylococcus aureus*, p. 373-402. In: R. P. Novick (ed.), *Molecular biology of the staphylococci*. VCM.
- Korsak n., clinquart a. & daube g., 2004.** *Salmonella* spp. Dans les denrees alimentaires d'origines animale : un reel probleme de sante publique. Ann. Med. Vet., 148, 174 – 193.
- Kostakioti, m., hadjifrangiskou, m., & hultgren, s. J. (2013).** Bacterial biofilms: development, dispersal, and therapeutic strategies in the dawn of the postantibiotic era. Cold spring harbor perspectives in medicine. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a010306>

L

- Labandeira-Rey, M., Couzon, F., Boisset, E.L., Bes, M., Benito,Y., Barbou, E.M.,Vazquez, V., Hook,M., Etienne, J., Vandenesch, F., Bowden, M.G. (2007).***Staphylococcus aureus* Panton-Valentine leukocidin causes necrotizing pneumonia.Science. 315(5815) : p. 1130-3.
- Ladhani, S., Joannou, C.L., Locherie, D.P., Evans, R.M., Poston, S.W.(1999).**Clinical, microbial, and biochemical aspects of the exfoliative toxins causing *staphylococcal* scalded-skin syndrome. Clin Microbiol Rev, 1999.12(2) : p. 224-42.
- Lagrange, f., reiprich, w., hoffmann, m.** Cip-cleaning and disinfection with ozone water. Fleischwirtschaft , 2004 , vol . 84 (2), pp. 112114.

Larpent j.p., 1997. Microbiologie alimentaire, technique de laboratoire. Editions lavoisier, p 860-870.

Le Loir, Y., Gautier, M. (2010). Monographie de la microbiologie : *Staphylococcus aureus*. Tec et Doc, Lavoisier, Paris

Lederer j. (1977) : encyclopedie moderne de l'hygiene alimentaire : technologie et hygiene alimentaire (volume 3).2eme editions, nauwelaerts, louvain. Ed., itavi .pp 68- 70.

Lee, K., Lee, J. H., Kim, S. I., Cho, M. H., & Lee, J. (2014). Anti-biofilm, anti-hemolysis, and anti-virulence activities of black pepper, cananga, myrrh oils, and nerolidol against *Staphylococcus aureus*. Applied microbiology and biotechnology, 98, 9447-9457.

Lee , Thanh Luong, T. T., Newell, S. W., & Lee, C. Y. (2003). Mgr, A Novel Global Regulator In *Staphylococcus Aureus*. Journal Of Bacteriology, 185(13), 3703-3710.

Lim, Hyang-Mi Nam, Hyun-Jung Park, Hee-Soo Lee, Min-Jung Choi, Suk-Chan Jung, Ji-Yeon Lee, Young-Cho Kim, Si-Wook Song, Sung-Hwan Wee (2010), Prevalence and characterization of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in raw meat in Korea

Lorite, g.s ., rodrigues, c.m ., souza , a.a .,kranz, c ., mizaikoff, b.,& cotta, m.a. (2011). The role of conditioning film formation and surface chemical changes on xylella fastidiosa adhesion and biofilm evolution. Jcolloid interface sci , 359:289-95.

Lowy FD (2003). Antimicrobial resistance: the example of *Staphylococcus aureus*. J.Clin. Invest. 111: 1265-1273.

Lozach e., 2001. Le sel et les microorganismes. Ecole nationale veterinaire de maison alfort. These de doctorat. Pp 6 -112.

M

Mack d., fischer w., krokotsch a., leopold k., hartmann r., egge h., laufs r. (1996). The intercellular adhesin involved in biofilm accumulation of *staphylococcus epidermidis* a linear beta-1,6-linked glucosaminoglycan: purification and structural analysis. *Journal of bacteriology*. 178, 175-183.

Mack d., nedelmann m., krokotsch a., schwarzkopf a., heesemann j., laufs r.(1994). Characterization of transposon mutants of biofilm-producing *staphylococcus epidermidis* impaired in the accumulative phase of biofilm production: genetic identification of a hexosamine-containing polysaccharide intercellular adhesin. *Infectiology and immunology*. 62, 3244- 3253.

- Madhaiyan, M., Wirth, J. S., & Saravanan, V. S. (2020).** Phylogenomic analyses of the Staphylococcaceae family suggest the reclassification of five species within the genus *Staphylococcus* as heterotypic synonyms, the promotion of five subspecies to novel species, the taxonomic reassignment of five *Staphylococcus* species to *Mammaliicoccus* gen. nov., and the formal assignment of *Nosocomiicoccus* to the family Staphylococcaceae. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(11), 5926-5936.
- Madr. (2018).** Filière avicole : la production nationale en viande blanche.
- Mainardi JL, Goldstein FW, Gutmann L (1996).** Mécanismes de résistance bactérienne aux antibiotiques. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris). Maladies infectieuses. 10 : 8
- Menzies, B.E.(2003).** The role of fibronectin binding proteins in the pathogenesis of *Staphylococcus aureus* infections. *Current Opinion Infectious Diseases*, 16 (3), 225- 229.
- Merino, N., Toledo-Arana, A., Vergara-Irigaray, M., Valle, J., Solano, C., Calvo,E., Lopez, J.A, Foster, T.J., Penadés, J.R., Lasa, I.(2009).** Protein A-mediated multicellular behavior in *Staphylococcus aureus*. *J Bacteriol.* 191(3) : p. 832- 843.doi :10.1128/JB. 01222-08.
- Merzougui, s., Ikhider, m., & cohe, n. (2013).** *Bacillus cereus* , un réel problème pour l ' industrie agro alimentaire ? *Bacillus cereus* , a real problem for food industry ? Sciencelib editions mersenne, 5, 1–20.
- Miles, G., Jayasinghe, L., Bayley, H. (2006).** Assembly of the Bi-component leukocidin pore examined by truncation mutagenesis. *J Biol Chem*, 281(4), 2205-14.
- Miles, G., Movileanu, L., Bayley, H.(2002).** Subunit composition of a bicomponent toxin :*Staphylococcal* leukocidin forms an octameric transmembrane pore. *Protein Sci Publ Protein Soc* ; 11: 894–902.
- Monin g., ouali a., (1991).** Muscle differentiation and meat quality. In: develop. Meat sci., lawrie r.a. Éd., 5, 89-158.
- Muller a, & guaguere e.(2014).**l'antibiothérapie n'est pas la seule source? D'antibiorésistance : notion de biofilm. Conflits afvac. Médecine interne / maladies infectieuses. Paris - la Defense.

N

- Nandhini, P., Kumar, P., Mickymaray, S., Alothaim, A. S., Somasundaram, J., & Rajan, M. (2022).** Recent developments in Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) treatment: a review. *Antibiotics*, 11(5), 606.

Nandy, P., Roy, S., Thakur, A.R. (2013). Chauduri SR.Comparative study on characterization of three *staphylococcal* isolates from varied origin; Available <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/36824>.

Ng ST, Lim CY, Tan CS, Abd Karim A, Haron A, Ahmad N and Murugaiyah V (2011). Emergence of vancomycine-resistant *Staphylococcus aureus* (VRSA). Webmed Central Inf. Dis. 2: 2787.

Novick, R.P.(2003). Mobile genetic elements and bacterial toxins: the superantigen encoding pathogenicity islands of *Staphylococcus aureus*. Plasmid, 49(2),93-105.

O

Ocde/fao (2014), perspectives agricoles de l'ocde et de la fao ; statistiques agricoles de l'ocde (base de donnees).

Ocde/fao (2022), perspectives agricoles de l'ocde et de la fao ; statistiques agricoles de l'ocde (base de donnees), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-fr>.

Otter JA and French GL (2010). Molecular epidemiology of community associated meticillin resistant *Staphylococcus aureus* in Europe. Lancet Infect Dis. 10: 227-239

Otto, m.(2013). Staphylococcal infections: mechanisms of biofilm maturation and detachment as critical determinants of pathogenicity. Annu rev med, 64:175-88

Otto, M. (2014). Staphylococcus aureus toxins. Current opinion in microbiology, 17, 32-37.

P

Paquin, (1988) : valeur nutritionnelle des viandes de volailles. L'aviculture française. Informations techniques des services vétérinaires, 100 a 103, rosset (ed.), 743-748.

Patti, J. M., B. L. Allen, M. J. McGavin, and M. Höök.(1994). MSCRAMM-mediated adherence of microorganisms to host tissues. Annu. Rev. Microbiol. 48:585-617

Peacock, S.J.,Moore, C.E., Justice, A., Kantzanou,M., Story, L.,Mackie, K. (2002).Virulent combinations of Adhesin and Toxin Genes in Natural Population of *Staphylococcus aureu*. Infect Immun.doi:10.1128/IAI.70, 9, 4987-4996.

Pepe, O., Blaiotta, G., Bucci, F., Anastasio, M., Aponte, M., & Villani, V. (2006). Staphylococcus aureus and staphylococcal enterotoxin a in breaded chicken products: detection and behavior during the cooking process. Applied and Environmental Microbiology, p. 7057–7062. doi:10.1128/AEM.00198-06

Pérez-martínez, i., haas, d. (2011) , Azithromycin inhibits expression of the gacA-dependent small rnas rsmY and rsmZ in pseudomonas aeruginosa. Antimicrob. Agents chemother , vol. 55, pp. 399–3405.

Perlman, S. L. (2017). Epidemiology of deep surgical site infections after pediatric spinal fusion surgery. Spine, 42(3), E163–E168. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001735>

PHIL/USDA (Public Health Image Library/ United State Department of Agriculture.

Podkowik, M., Seok, K., Schubert, J., Tolo, I., Robinson, D. A., & Bania, J. (2016). International Journal of Food Microbiology Genotype and enterotoxigenicity of *Staphylococcus epidermidis* isolate from ready to eat meat products. International Journal of Food Microbiology, 229, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.04.013>

Pöhlmann-Dietze, P., Ulrich, M., Kiser, K.B., Döring, G., Lee, J.C., Fournier, J.M., Botzenhart, K., Wolz, C. (2000). Adherence of *Staphylococcus aureus* to endothelial cells: influence of capsular polysaccharide, global regulator agr, and bacterial growth phase. Infect Immun, 68(9) : p. 4865-4871.

Poole K (2004). Uninhibited antibiotic target discovery via chemical genetics. Nat Biotechnol. 22(12):1528-1529. Poultry science journal, vol. 69, september 2013. Doi: 10.1017/s0043933913000615

Prescott L.M, Harley J.P, Klein D (2010). Microbiologie. 2ème Edition Française. De Boeck Université.

Projan, S. J. and R. P. Novick. (1997). The molecular basis of pathogenicity, p. 55-81. In: K. B. Crossley and G. L. Archer (eds.), The Staphylococci in Human Disease. Churchill Livingstone, New York

R

Rebecca M Corrigan, Helen Miajlovic and Timothy J Foster.(2009). Surface proteins that promote adherence of *Staphylococcus aureus* to human desquamated nasal epithelial cells

Reda A, Amin A, Shiferaw A, Nazir S. (2013). Yolk Sac Infection (Omphalitis) in Kombolcha poultry farm, Ethiopia. Am-Eurasian J Sci Res. 8:10–14.

Renner, I. D., & weibel, d. b. (2011). Physicochemical regulation of biofilm formation. Mrs bulletin/mater. Res. Society, 365: 347–355.

Ripolles-avila, c., ríos-castillo, a. G., & rodríguez-jerez, j. J. (2018). Development of a peroxide biodetector for a direct detection of biofilms produced by catalase-positive bacteria on food-contact surfaces. Cyt - journal of food. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1418434>

Rohde h., frankenberger s., ahringer u., mack d. (2010). Structure, function and contribution of polysaccharide intercellular adhesin (pia) to *staphylococcus epidermidis* biofilm formation and pathogenesis of biomaterial-associated infections. *European journal of cell biology*. 89: 103–11.

Rosec, J.P., Guiraud, J.P., Dalet, C., & Richard, N. (1997). Enterotoxin production by staphylococci isolated from foods in France. *Int. J. Food Microbiol.* 35, 213–221.

S

Salvini s., prpinel m., gnagnarella p., maisonneuve p. & turrini a. (1998) : banca dati di composizione degli alimenti per studi epidemiologici in italia, ed, istituto superiore di oncologia.

Savariraj, W. R., Ravindran, N. B., Kannan, P., & Rao, V. A. (2021). Occurrence and enterotoxin gene profiles of *Staphylococcus aureus* isolated from retail chicken meat. *Food Science and Technology International*, 27(7), 619-625.

Seidl, K., Bischoff, M., Berger-Bachi, B. (2008). CcpA mediates the catabolite repression of *tst* in *Staphylococcus aureus*. *Infect Immun* ; 76:5093-5099

Showsh, S.A., De Boever, E.H. and Clewell, D.B. (2001) Vancomycin resistance plasmid in *Enterococcus faecalis* that encodes sensitivity to a sex pheromone also produced by *Staphylococcus aureus*. *Antimicrobial agents and chemotherapy* 45, 2177-2178.

Silva, s. S., carvalho, j. W. P., aires, c. P., & nitschke, m. (2017). Disruption of *staphylococcus aureus* biofilms using rhamnolipid biosurfactants. *Journal of dairy science*, 100(10), 7864–7873.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13012>

Simões, m., simões, l. C., & vieira, m. J. (2010). A review of current and emergent biofilm control strategies. *Lwt - food science and technology*, 43(4), 573–583. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.12.008>

Singh, r.p. M., shukla, a., mishra, c.r.k., reddy, b., & jha. (2013). Bacterial extracellular polymeric substances and their effect on settlement of zoospore of *ulva fasciata*. *Colloids and surfaces b:biointerfaces*, 103: 223-230. *staphylococci* with a self-educating system using fatty acid biochemical tests. *J Clin Microbiol* ; 34 :3075-3084.

Starton t., (1982) : viande et alimentation humaine .ed. Apria, paris. P 110111. Sutra d, de buyserd, l ., 2005 .
Staphylococcus aureus, in bacteriologie alimentaire compendium d'hydrogene des aliments. 2emeed
 .economica paris .pp 25-51. Technologie alimentaire by brigitte sablonniere (2001-10-08).

Stewart, p.s., &franklin, m.(2008). Physiological heterogeneity in biofilms. Nature review microbiology, 6:199-210

Strempel, n., strehmel, j., overhage, j. Potential application of antimicrobial peptides in the treatment of bacterial biofilm infections. Curr. Pharm. Des , 2015 , vol.21, pp. 67–84.

T

Tam, K., & Torres, V. J. (2019). *Staphylococcus aureus* secreted toxins and extracellular enzymes. Microbiology spectrum, 7(2), 7-2.

Tavares, A., Nielsen, J.B., Boye, K., Rohde, S., Poulou, A.C., Westh, H. (2014). Insights into Alpha-Hymolysine (Hla) Evolution and Expression among *Staphylococcus aureus* Clones with Hopital and Community Origin. Zitzgerald, J.R. PLoS ONE .2014, 9: 98634. Doi: 10. 1371 / Journal, pone.0098634. Technique et documentation.

Thomas, D.Y., Jarraud, S., Lemercier, B., Cozon, G., Echasserieu, K., Etienne, J.,Gougeon, M.L., Lina, G., Vandenesch, F.(2006). *Staphylococcal* enterotoxin-like toxins U2 and V, two new *staphylococcal* superantigens arising from recombination within the enterotoxin gene cluster. Infect Immun, 74(8) : p. 4724-34.

Tiwari B (2009). Vancomycin resistance in *Staphylococcus aureus* may occur faster than expected. Int. J. Life Sci. 3: 6-13.

Tu quoc, p.h., genevaux, p., pajunen, m., savilahti, h., georgopoulos, c., schrenzel, j. And kelley, w.l. (2007) isolation and characterization of biofilm formation-defective mutants of *staphylococcus aureus*. *Infect immun* 75, 1079-1088.

V

Van houdt , r ., michiels cw . Formation biofilm et l'industrie alimentaire , l'accent sur la surface externe des bactéries . Journal of applied microbiology , 2010 ,vol. 109, 4, pp . 1117-1131.

Vandenesch, F., Lina, G., Henry, T.(2012). *Staphylococcus aureus* hemolysins, bicomponent leukocidins, and cytolytic peptides: a redundant arsenal of membranedamaging virulence factors? Front Cell Infect Microbiol ; 2,12.

Vierling, e. (2003) : aliment et boissons : filiere et produits biosciences et technique. 2eme ed, doin, crdp aquitaine.

W

Wang, H., Xu, J., Liu, Q., Xia, X., Sun, F., & Kong, B. (2022). Effect of the protease from *Staphylococcus carnosus* on the proteolysis, quality characteristics, and flavor development of Harbin dry sausage. *Meat Science*, 189, 108827.

Wang, L., Xia, Q., & Li, Y. (2017). The effects of high-pressure processing and slightly acidic electrolysed water on the structure of *Bacillus cereus* spores. *Food Control*, 79, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.036>

Warner, S. J., Uppstrom, T. J., Miller, A. O., O'Brien, S. T., Salvatore, C. M., Widmann, R. F., & Watts, A., Ke, D., Wang, Q., Pillay, A., Nicholson-Weller, A., Lee, J.C. (2005). *Staphylococcus aureus* strains that express serotype 5 or serotype 8 capsular polysaccharides differ in virulence. *Infect Immun*, 73(6): p. 3502-11.

Watier b. (1992) : vitamines et technologie alimentaires: in « aspects nutritionnels des constituants des aliments : influence des technologies ». Editions, lavoisier, paris.

Wieliczko, R. J., Williamson, J. H., Cursons, R. T., Lacy-Hulbert, S. J., & Woolford, M. W. (2002). Molecular typing of *Streptococcus uberis* strains isolated from cases of bovine mastitis. *Journal of dairy science*, 85(9), 2149-2154.

Wilk, G.A., Buberck Wardenburg, J.(2010). Role of a disintegrin and metalloprotease 10 in *Staphylococcus aureus* alpha-hemolysin-mediated cellular injury. *Proc Natl Acad Sci USA*, 107, 13473-13478. doi :10.1073/pnas.1001815107

Wolz, C., P. Pöhlmann-Dietze, A. Steinhuber, Y. T. Chien, A. Manna, W. Van Wamel, and A. Cheung. (2000). Agr-independent regulation of fibronectin-binding protein(s) by the regulatory locus sar in *Staphylococcus aureus*. *Mol. Microbiol.* 36:230-243.

X

Xihong , z ., fenghuan , z ., jun , w ., nanjing , z .(2017), Biofilm formation and control strategies of foodborne pathogens: food safety . *Perspectives rsc adv*, vol. 7, pp. 36670–36683

Xu, z., xie, j., soteyome, t., peters, b. M., shirliff, m. E., liu, j., & harro, j. M. (2019). Sciencedirect polymicrobial interaction and biofilms between *staphylococcus aureus* and *pseudomonas aeruginosa* : an underestimated concern in food safety. *Current opinion in food science*, 26, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.03.006>

Y

Yang, y., mikš-krajnik, m., zheng, q., lee, s b., lee, s c., yuk, h g. (2016) , Biofilm formation of salmonella enteritidis under food-related environmental stress conditions and its subsequent resistance to chlorine treatment. Food microbiol , vol . 54, pp. 98–105.

Yoshinari, m., kato, t., matsuzaka, k., hayakawa, t., & shiba, k. (2010). Prevention of biofilm formation on titanium surfaces modified with conjugated molecules comprised of antimicrobial and titanium-binding peptides. Biofouling, 26:103-10.

Z

Zapf, R. L., Wiemels, R. E., Keogh, R. A., Holzschu, D. L., Howell, K. M., Trzeciak, E. & Carroll, R. K. (2019). The small RNA Teg41 regulates expression of the alpha phenol-soluble modulins and is required for virulence in *Staphylococcus aureus*. MBio, 10(1), e02484-18.

Zhang, P., Liu, X., Zhang, J., Fu, X., Wan, Y., Pan, H. & Wang, X. (2021). Prevalence and characterization of *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolated from retail yak butter in Tibet, China. Journal of Dairy Science, 104(9), 9596-9606.

Annexes

Annexes

Annexe 01

1. Milieux de culture

1.1 Milieux de culture liquides

➤ Bouillon cœur cerveau (BHIB)

Composition :

Infusion de cerveau de veau.....	12.5g
Infusion de cœur de bœuf.....	05g
Peptone.....	10g
Glucose.....	02g
Chlorure de sodium.....	02g
Phosphatase di sodique.....	05g
pH= 7.4	

Préparation : 37g par litre d'eau distillée. Stérilisation à l'autoclave à 121°C, 15min

1.2 Milieux de culture solides

➤ Le milieu de Chapman

est un milieu sélectif, surtout, permettant la croissance des germes halophiles, La forte concentration en chlorure de sodium inhibe la croissance de la plupart des bactéries autres que les staphylocoques (**BIO-RAD ,2007**).

Composition:

La formule théorique de ce milieu de culture en g/L d'eau purifiée est :

Extrait de viande (bovin ou porcin).....	05g
Peptone de caséine et de viande (bovin et porcin).....	05g
Chlorure de sodium.....	75g
Mannitol.....	10g
Agar.....	15g
Rouge de phénol.....	0,025g

pH=7,4

Préparation : 111g par litre d'eau distillée. Stérilisation à l'autoclave à 121°C, 15min

➤ **Gélose nutritive**

pour la conservation des souches à court terme et faire le dénombrement sur boîtes de pétrie.

Composition :

Peptone.....	5g
Extrait de viande.....	01g
Chlorure de sodium.....	05g
Agar.....	15g

pH=7.3

Préparation : 28g par litre d'eau distillée. Stérilisation à l'autoclave à 121°C, 15min

➤ **Gélose de Baird-Parker**

Peptone pancréatique de caséine.....	10 g
Extrait de levure.....	1 g
Extrait de viande.....	5 g
Pyruvate de sodium.....	10 g
Li Cl.....	5 g
Glycine.....	12 g
Gélose.....	15 g
Eau distillée.....	1000 ml

ph = 6,8. Stériliser à 121°C pendant 15 minutes.

Préparation : 63g par 950 ml d'eau distillée. Stérilisation à l'autoclave à 121°C, 15min

• **Préparation de l'émulsion de jaune d'œuf et la Solution de tellurite de potassium**

- ❖ Utiliser des œufs frais de poule dont la coquille est intacte.
- ❖ Nettoyer les œufs avec une brosse et un détergent liquide, puis rincer à l'eau courante.
- ❖ Désinfecter l'œuf en le plongeant dans une solution d'éthanol à 70% pendant 30s, puis les laisser sécher à l'air libre ou réaliser un flambage.
- ❖ Aseptiquement, casser chaque œuf et séparer le blanc du jaune par transferts répétés de demi-coquille à l'autre.

- ❖ Recueillir les jaunes d'œufs dans un récipient stérile et compléter avec trois fois leur volume d'eau physiologie stérile.
- ❖ Ajouter 1ml de Solution de tellurite de potassium.et Homogénéiser vigoureusement.

• **Composition du milieu complet**

Milieu de base (Baird- Parker).....	100ml
Solution de tellurite de potassium.....	1ml
Émulsion de jaune d'œuf.....	5ml

➤ **Gélose à ADN**

Composition :

Peptone de viande.....	20 g
Acide désoxyribonucléique.....	02g
Chlorure de sodium.....	05 g
Agar.....	15g

PH du milieu prêt à l'emploi 7.3 +/- 0.2 à 25°C.

Préparation : dissoudre 42g de poudre dans 1l d'eau distillée puis stériliser à l'autoclave pendant 15 minutes à 121°C.

➤ **Milieu Mueller-Hinton**

Composition :

Amidon.....	1.5 g
Infusion de boeuf.....	2.0 g
Agar bactériologique.....	17.0g
Peptone de caséine acide.....	17.5g

PH du milieu prêt à l'emploi 7.4 +/- 0.2 à 25°C.

Préparation : mettre en suspension 38g de milieu déshydraté dans 1l d'eau distillée. Bien agiter, faire bouillir pendant 1 minute puis stériliser à l'autoclave pendant 15 minutes à 121°C.

➤ **Gélose Columbia**

Suspendre les composants, poudre déshydratée, dans l'eau (42,5 grammes dans 1000 ml d'eau distillée). Le milieu est bouilli pendant quelques secondes jusqu'à dissolution complète des ingrédients. Répartir dans des flacons et stériliser par autoclavage à 121°C pendant 15 minutes.

Digestion pancréatique de caséine.....	10g
Digestion peptique de tissu animal.....	5.0g
Extrait de levure.....	3.0g
Extrait de bœuf.....	3g
Fécule de maïs.....	1g
Chlorure de sodium.....	5g
Gélose.....	13.5g

Préparation de la gélose au sang : à 45°C, mélanger de manière homogène 5 à 10 % de sang défibriné stérile, après agitation, en évitant d'inclure des bulles d'air, répartir en boîtes de Petri. Il permet de déterminer les réactions hémolytiques.

Résumé

Staphylococcus est l'un des agents pathogènes responsables des intoxications alimentaires. Sa transmission à partir de la viande est considérée comme un problème très préoccupant dans l'industrie avicole en raison de son impact sur la santé publique. Ce travail s'intéresse à mettre le point sur la situation actuelle en matière d'occurrence des *Staphylococcus* spp. dans la viande de poulet cru dans la ville de Laghouat, et de caractériser leurs profils d'antibiorésistance et leurs capacités à former des biofilms sur différents matériaux ; à savoir (pvc, acier inoxydable, titanium et polyépoxyde). Une analyse microbiologique a porté sur 20 échantillons recueillis aléatoirement de différentes boucheries, dont 70% positifs à *staphylococcus* spp. 18 souches ont été isolées conformément à la norme ISO 6888, partiellement modifiée. L'identification biochimique a révélé que 78% des souches sont des *Staphylococcus* à coagulase positif, et 22% sont à coagulase négatif. La résistance des souches aux antibiotiques a montré une résistance totale au Beta-lactamine, ceux-ci indiquent la présence des souches résistant à la méthicilline SRM. D'autre part, aucune résistance vis-à-vis l'acide fusidique n'a été enregistrée. L'étude de la formation du biofilm a révélé que plus de la moitié des souches (61,11%) produisaient le slime bactérien par la technique du rouge congo, 25% d'entre elles étaient fortement formatrice de biofilm sur Polychlorure de Vinyle (PVC) avec un taux de 16,66 % chez les souches à coagulase négatif et 8,33% chez les souches à coagulase positif. La capacité d'adhérer et de former des biofilms sur les surfaces en acier inoxydable, en titanium et en polyépoxyde a montré que celles sur les derniers sont les plus élevées par rapport aux autres. Par conséquent, les données obtenues ici peuvent être très pratiques pour contribuer à la mise en œuvre des programmes d'hygiène pour la viande, pour soutenir l'évaluation des risques et la gestion des risques des maladies d'origine alimentaire.

Summary

Staphylococcus is one of the pathogens responsible for food poisoning. Its transmission from meat is considered as a problem of great concern in the poultry industry due to its impact on public health. This work aims to review the current situation in terms of the occurrence of *Staphylococcus* spp. in raw chicken meat in the city of Laghouat, and to characterize their antibiotic resistance profiles and their ability to form biofilms on different materials; namely (pvc, stainless steel, titanium and polyepoxide). A microbiological analysis focused on 20 samples collected randomly from different butchers, 70% of which were positive for *Staphylococcus* spp. 18 strains were isolated according to the ISO 6888 standard, slightly modified. Biochemical identification revealed that 78% of the strains are coagulase-positive *Staphylococcus*, and 22% are coagulase-negative. The resistance of the strains to antibiotics showed a total resistance to Beta-lactam, these indicate the presence of strains resistant to methicillin MRS. On the other hand, no resistance to fusidic acid was recorded. The study of biofilm formation revealed that more than half of the strains (61.11%) produced bacterial slime by the congo red technique, 25% of them were strongly biofilm-forming on polyvinyl chloride (PVC) with a rate of 16.66% in coagulase negative strains and 8.33% in coagulase positive strains. The ability to adhere and form biofilms on stainless steel, titanium and polyepoxide surfaces has shown that those on the latter are the highest compared to the others. Therefore, the data obtained here can be very useful to aid in the implementation of meat hygiene programs, to support risk assessment and risk management of foodborne diseases. that epoxy is higher than the others.

المخلص

المكورات العنقودية هي واحدة من مسببات الأمراض المسؤولة عن التسمم الغذائي. يعتبر انتقاله من اللحم مشكلة ذات أهمية كبيرة في صناعة الدواجن لما له من تأثير على الصحة العامة. يهدف هذا العمل إلى مراجعة الوضع الحالي من حيث ظهور بكتيريا ص. أوريس في لحوم الدجاج النيئة في مدينة الأغواط، وتوصيف خصائصها المقاومة للمضادات الحيوية وقدرتها على تكوين أغشية حيوية على مواد مختلفة. وهي (بولي كلوريد الفينيل، الفولاذ المقاوم للصدأ، التيتانيوم والبوليوكسيد). ركز التحليل الميكروبيولوجي على 20 عينة تم جمعها عشوائياً من جزارين مختلفين، 70% منها كانت إيجابية لبكتيريا المكورات العنقودية. تم عزل 18 سلالة طبقاً لمعيار أيزو 6888، تم تعديلها جزئياً. كشف التعرف البيوكيميائي أن 78% من السلالات هي بكتيريا المكورات العنقودية (+) Coagulase، و 22% (-) Coagulase. أظهرت مقاومة السلالات للمضادات الحيوية مقاومة كاملة لبينيتا لاكتام، وهذا يشير إلى وجود سلالات مقاومة لميثيسيلين. من ناحية أخرى، لم تسجل مقاومة لحمض الفوسيديك.

كشفت دراسة تكوين الأغشية الحيوية الرقيقة أن أكثر من نصف السلالات (61.11%) أنتجت مخاطاً جرثومياً بتقنية كونغو الأحمر، 25% منها عبارة عن غشاء حيوي قوي على البولي فينيل كلوريد (PVC) بمعدل 16.66% في السلالات لتخثر الدم السلبي و 8.33% في السلالات الموجبة لتخثر الدم. أظهرت القدرة على الالتصاق وتشكيل الأغشية الحيوية على أسطح الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم والبولي أكسيد أن تلك الموجودة على الأخير هي الأعلى مقارنة بالآخرين. لذلك، يمكن أن تكون البيانات التي تم الحصول عليها هنا مفيدة للغاية للمساعدة في تنفيذ برامج صحة اللحوم، لدعم تقييم المخاطر وإدارة مخاطر الأمراض المنقولة بالغذاء.