

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N°:

DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE BIOLOGIQUE

OPTION : MICROBIOLOGIE APPLIQUEE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : Rizoug zeglache manar

Torchi lina

Seddiki riham

Intitulé

**Techniques microbiologiques classiques relatives au contrôle des espèces de
Salmonella dans certains produits alimentaires**

Soutenu devant le jury:

Dr. BOUAZIZ SAMIA

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Présidente

Dr. RABAH NOURA

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Encadrante

Dr. BOUBAKEUR HAFSA

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Examinatrice

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous souhaitons également adresser nos plus vifs remerciements à Madame [RABAH NOURA], notre encadrante de mémoire. Votre accompagnement précieux, vos conseils avisés et votre disponibilité constante ont été déterminants dans la réalisation Dèce projet. Votre rigueur et votre expertise nous ont permis de surmonter les difficultés rencontrées et d'aboutir à ce résultat. Nous vous sommes infiniment reconnaissants pour votre soutien.

Les membres du jury,

Nous vous adressons nos plus sincères remerciements pour avoir honoré de votre présence la soutenance de notre mémoire et pour l'intérêt que vous avez manifesté à l'égard de notre travail. Vos observations éclairées et la qualité de nos échanges ont été d'une grande valeur pour nous. Elles représentent une contribution essentielle à l'approfondissement de nos connaissances et à la consolidation de nos compétences.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes, connues ou inconnues, qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire. Votre aide a été inestimable.

Dédicace

À tous ceux qui sont chers, ceux à qui je dois mon succès :

À notre « Seigneur, Dieu tout puissant », merci dieu de m'avoir donné la vie, la foi, les prières exaucées pour m'y arriver.

À celui qui m'a dit un jour que je suis la prune de ses yeux, et qui voyait dans mon plus simple succès la plus grande réalisation, à l'homme qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui car il est **mon Père**, celui dans les yeux duquel je vois la fierté de moi, mon modèle de respect et d'amour d'un père, de la compréhension et de la générosité. Grâce à toi j'ai appris à être la fille qui ne cesse pas de faire tout pour te rendre heureux et fier

Celle qui m'a appris à être une fille forte et qui cherche toujours à achever ses objectifs à tout prix, celle qui m'a encouragé à poursuivre mes rêves même les obstacles semblaient insurmontables. Mon ange gardien ton amour et ta présence dans ma vie et le fait d'être **ma Mère** continueront d'éclairer mon chemin.

À ma sœur, Chaima

Merci pour votre tendresse votre présence rassurante et votre soutien dans les moments où j'en avais le plus besoin.

A mon frère, Mohamed **El Bachir**

Mon petit prince je t'aime beaucoup.

Mes chères amis fidèles, **Amani** et **Riham** ,

Merci pour vos mots encourageants, vos encouragements qui m'ont portée jusqu'au bout.

À toute personne formidable que je connaisse. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux allégés, et le fruit de votre soutien infaillible.

Enfin je dédie ce travail à moi-même, c'est le temps d'y être

Manar rizoug zeglache

Dédicace

À ma famille,

Pour votre amour inconditionnel, votre soutien silencieux mais constant, et pour avoir toujours cru en moi, même dans les moments où moi-même j'en doutais.

À mes parents,

Celles qui ont toujours cru en moi, même quand moi je doutais. Merci pour votre présence rassurante, vos paroles réconfortantes et vos éclats de rire qui ont illuminé mes journées. Vous avez été ma force dans les moments difficiles et ma joie dans les instants de réussite. Ce mémoire est autant le vôtre que le mien. Avec tout mon amour.

À mes sœurs adorées **khawla** et **Imane**,

Merci pour vos sacrifices, votre patience et vos encouragements tout au long de ce parcours.

À mon frère **Mohamed**, mon soutien

Mon pilier, mon soutien dans les moments difficiles, ta présence, ton écoute et tes encouragements ont été pour moi une force inestimable tout au long de ce parcours. Merci d'avoir toujours cru en moi.

À mes amis,

Pour votre présence, vos mots rassurants, vos blagues salvatrices et votre écoute précieuse, surtout dans les moments de doute.

Torchi Lina

Dédicace

Nous n'avons entamé les débuts que par Sa guidance, nous n'avons atteint les fins que par Son assistance, et nous n'avons réalisé les objectifs que par Sa grâce. Louange à Dieu qui m'a permis de valoriser cette étape dans notre parcours académique.

À celle qui s'est prosternée devant Dieu, priant pour moi en secret et en public, à la source des battements de mon cœur et de la paix de mon âme, à celle qui a veillé tard pour alléger mes peines et a essuyé mes larmes de sa main pleine de tendresse, ô source infinie de douceur,

Ma chère maman... Je t'offre le fruit de ce parcours avec tout mon amour et ma profonde gratitude.

À **mon cher père**, source de ma fierté et de mon soutien constant,
tu as illuminé mon chemin par ta détermination,
et m'as abreuvé(e) de ta patience jusqu'à ce que je devienne fort(e) et solide.
Tu restes pour moi une fierté éternelle et une prière toujours exaucée.

À mes chères sœurs **Khadîdja et Rahaf** et à mon frère bien-aimé **Mohammed Ali**
, vous êtes la lumière qui dissipe l'obscurité de mes soucis et le sourire qui allège le poids de mes efforts, votre amour inconditionnel, votre présence rassurante et vos paroles bienveillantes ont été mon refuge lorsque mes pas trébuchaient sur les chemins du doute. Merci d'avoir cru en moi.

À **mes camarades et amis**,
merci pour votre présence, vos encouragements et les moments partagés.
Ce parcours aurait été bien plus difficile sans vous.

À **ma famille**,

Merci pour votre présence de cœur, vos prières et votre amour sincère. Je vous dédie ce succès, fruit d'un chemin parcouru grâce à votre soutien.

À celle qui a douté parfois, mais n'a jamais perdu la foi, A celle qui a caché ses larmes derrière un sourire serein, puis s'est relevée avec encore plus de courage, Merci à celle qui a affronté les épreuves avec patience, et avancé malgré les obstacles avec détermination, A sa force qui ne l'a jamais abandonnée, même dans les moments les plus sombres. Le chemin n'a pas été facile, mais chaque pas, chaque effort en valait la peine. Louange à Dieu qui m'a accordé la force de poursuivre jusqu'au bout.

À **tous ceux qui**, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail,
recevez ici l'expression de ma profonde gratitude.

Riham Seddiki

ملخص

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة وتقييم التقنيات الميكروبيولوجية التقليدية المستخدمة للكشف عن السالمونيلا في المنتجات الغذائية، بهدف تعزيز السلامة الصحية للأغذية وحماية الصحة العامة. ونظرًا لأن السالمونيلا تُعدّ أحد أكثر العوامل الممرضة شيوعًا التي تنتقل عن طريق الغذاء، فقد تم التركيز على طريقة العزل والتعرف النوعي والكمي على هذه البكتيريا باستخدام بروتوكولات تقليدية مثبتة في المختبر. تُبرز هذه الدراسة وجود السالمونيلا في بعض المواد الغذائية، مما يسلط الضوء على ضرورة وجود رقابة صارمة في كل مرحلة من مراحل سلسلة الإنتاج الغذائي. وتُظهر نتائج هذه الدراسة أهمية هذه التقنيات بالنسبة لمهنيي الصناعات الغذائية، ومخابر مراقبة الجودة، والسلطات الصحية. كما توفر بيانات أساسية للوقاية من التسممات الغذائية البكتيرية والحد من انتشارها. وتوصي الأطروحة أيضًا بدمج هذه الطرق التقليدية مع الأساليب الحديثة للمراقبة من أجل ضمان سلامة المنتجات الموجهة للمستهلك.

كلمات مفتاحية

التقنيات الميكروبيولوجية الكلاسيكية، سالمونيلا، المنتجات الغذائية، سلامة الأغذية، الأمراض.

Abstract

This thesis aims to study and evaluate classical microbiological techniques used for the detection of *Salmonella* in food products, with the objective of enhancing food safety and protecting public health. Given that *Salmonella* is one of the most common foodborne pathogens, the research focused on both qualitative and quantitative identification of the bacteria using well-established laboratory methods. Presence of *Salmonella* in certain food samples, highlighting the critical need for strict quality control throughout the food chain. These techniques are very important for professionals in the agri-food industry, quality control laboratories, and health authorities, providing essential data to support the prevention and management of bacterial foodborne illnesses. The thesis also recommends integrating traditional methods with modern monitoring strategies to ensure the safety of consumer food products.

Keywords

classical microbiological techniques, *Salmonella*, food products, food safety, foodborne pathogens.

Résumé

Cette thèse vise à étudier et évaluer les techniques microbiologiques classiques utilisées pour la détection de *Salmonella*. Dans les produits alimentaires, dans le but de renforcer la sécurité sanitaire des aliments et de protéger la santé publique. Étant donné que *Salmonella* est l'un des agents pathogènes les plus fréquents transmis par l'alimentation, l'accent a été mis sur la méthode d'isolement, d'identification qualitative et quantitative de cette bactérie à l'aide de protocoles traditionnels éprouvés en laboratoire. La présence de *Salmonella* dans certaines denrées, soulignant ainsi la nécessité d'un contrôle rigoureux à chaque étape de la chaîne alimentaire. Les résultats de cette étude mettent en évidence l'importance de ces techniques pour les professionnels de l'agroalimentaire, les laboratoires de contrôle de qualité et les autorités sanitaires. Ils fournissent des données essentielles pour prévenir les toxi-infections alimentaires bactériennes et limiter leur propagation. La thèse recommande également l'intégration de ces méthodes traditionnelles avec des approches de contrôle modernes afin de garantir la sécurité des produits destinés au consommateur

Mots- clé

Les techniques microbiologiques classiques, *Salmonella*, les produits alimentaires, la sécurité sanitaire.

Liste des abréviations

- **Anses** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- **BPH** : Bonnes pratiques d'hygiène
- **CCP** : Point de contrôle critique
- **CS** : Citrate de Simmons
- **EFSA** : Autorité européenne de sécurité des aliments
- **ELISA** : Test immuno-enzymatique
- **EU-RASFF** : Système d'alerte rapide pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux de l'Union européenne
- **GFN** : Réseau mondial des infections d'origine alimentaire
- **H₂S** : Hydrogène sulfuré
- **HACCP** : Analyse des dangers et maîtrise des points critiques
- **HE** : Hektoen entérique
- **HPP** : Traitement à haute pression
- **IMViC** : Indole, Rouge de méthyle, Voges-Proskauer, Citrate
- **kGy** : Kilogray
- **LDA** : Lysine désaminase
- **LDC** : Lysine décarboxylase
- **MLEE** : Électrophorèse enzymatique multilocus
- **MPa** : Mégapascal
- **MR** : Rouge de méthyle
- **MSRV MPN** : Most Probable Number (Nombre le plus probable sur milieu MSRV)
- **NTS** : Salmonella non typhoïdale
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé
- **ONPG** : Test de l'orthonitrophényl-β-galactoside utilisé pour détecter l'activité de la β-galactosidase
- **PCR** : Réaction en chaîne par polymérase
- **PFGE** : Électrophorèse en champ pulsé
- **SCV** : Vacuoles contenant des Salmonella
- **SPI** : Îlots de pathogénicité de Salmonella
- **SS** : Shigella - Salmonella
- **T3SS** : Système de sécrétion de type III
- **TSI** : Triple Sugar Iron (milieu de culture)

- **UE** : Union européenne
- **USDA-FSIS** : Département de l'Agriculture des États-Unis – Service de sécurité et d'inspection des aliments
- **VP** : Voges-Proskauer
- **WGS** : Séquençage du génome entier
- **XLD** : Xylose Lysine Désoxycholate (milieu de culture)

Liste des figures

Figure 1. Taxonomie des <i>salmonella</i> (Miroid-Mei, S. 2001).....	4
Figure 2. Testes biochimiques (a) Test de Voges-Proskauer (à droite montrant le contrôle) ; (b) Test indole (tube gauche montrant le contrôle) et(c) Test de motilité (à gauche montrant le contrôle) (Rahman et al.,2019).....	6
Figure 3. Testes biochimiques (a) Test TSI (à droite montrant le contrôle négatif) ; (b) Test au citrate (à gauche montrant le contrôle) (c) Test au rouge de méthyle (à gauche montrant le contrôle négatif) (Rahman et al.,2019).....	7
Figure 4 . Pathogénèsed'une infection <i>salmonella</i> (Dos Santos <i>et al.</i> , 2018)	13
Figure 5: Culture bactérienne sur gélose <i>salmonella shigella</i> (BENZEID et al .,2024).	20
Figure 6. <i>Salmonella</i> sur gélose hektowen (Ait Alioua et al.,2013).	21
Figure 7. <i>Salmonella</i> sur (TSI) (Abdelhaoui <i>et al.</i> ,2013).....	21
Figure 8 . Teste urée indole de <i>salmonella</i> (Abdelhaoui <i>et al.</i> ,2013).	22
Figure 9. Teste de lysine de <i>salmonella</i> (Abdelhaoui <i>et al.</i> ,2013).	23
Figure 10. Teste de citrar et teste onpg de <i>salmonella</i> (Abdelhaoui <i>et al.</i> ,2013).....	23

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristique biochimique de <i>salmonella</i> (Rahman et al.,2019).....	6
Tableau 2. identification (biochimique.enzymatique.sérologique) <i>salmonella</i> (MacFaddin, J.F. 2000) (Le Minor, L., et al . ;1987)	24
Tableau 3 . Surveillance officielle de la contamination par Salmonella des denrées alimentaires d'origine animale à différents stades de la chaîne, France (Anses et al ., 2012).....	29

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé	i
Liste des abréviations	ii
Liste des figures	ii
Liste des tableaux	v
Introduction	1
chpitre I. <i>Salmonella</i> . : Caractéristiques, épidémiologie et risques	3
I.1 Description de <i>salmonella</i> : taxonomie, caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimique	3
I.1.1 Taxonomie:	3
I.1.2 Caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimiques:	4
I.1.3 Testes biochimiques :	5
I.2 Épidémiologie des infections à <i>Salmonella</i> : sources de contamination, modes de transmission, populations à risque :	8
I.2.1 Sources de contamination :	8
I.2.2 Mode de transmission :	9
I.2.3 Population à risque :	10
I.3 Pathologie de <i>salmonella</i> : Mécanisme d'infection, Symptômes cliniques.....	11
I.3.1 Mécanisme d'infection :	11
I.3.2 Symptômes cliniques de l'infection à <i>Salmonella</i>	14
chpitre II. Techniques microbiologiques classiques	19
II.1 Techniques de culture :	19
II.1.1 Isolement et identification présomptive de <i>Salmonella</i> :	19
.....	21
II.1.2 Tests biochimiques et sérologiques:	21

II.2 Techniques de numérations :	25
II.2.1 Méthodes de numération des cellules de <i>Salmonella</i> dans les échantillons alimentaires :	25
II.2.2 Importance de la numération pour évaluer le niveau de contamination et le risque pour la santé :	25
II.3 Techniques de confirmation :	26
II.3.1 Typage moléculaire (PCR, séquençage) et identification sérologique et:	26
chpitre III. Surveillance et contrôle de Salmonella	27
III.1 Surveillance microbiologique des aliments :	27
III.1.1 Programmes de surveillance nationaux et internationaux :	27
III.1.2 Importance de la collecte et de l'analyse d'échantillons représentatifs :	30
III.1.3 Interprétation des résultats et l'identification des points de contrôle critique :	31
III.2 Mesures de contrôle :	32
III.2.1 Bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication (BPH . HACCP) :	32
III.2.2 Traitements thermiques et autres méthodes de conservation des aliments :	34
III.2.3 Importance de la prévention de la contamination à tous les stades de la chaine alimentaire :	35
Conclusion :	36
Références bibliographique	

Introduction

Introduction

Les salmonelles, qui appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*, sont des bactéries à Gram négative. Ils sont essentiellement des parasites intestinaux touchant l'homme et divers animaux, y compris les oiseaux sauvages, les animaux domestiques, les rongeurs, les poules, et bien d'autres. Ils se trouvent aussi dans les canalisations, les rivières, les cours d'eau et le sol (Kombade, *et al.*, 2021).

Les infections provoquées par *Salmonella*. figurent parmi les principales sources d'infections gastro-intestinales. La typhoïde, due à *Salmonella typhi* et *Salmonella paratyphi*, continue de poser un défi sanitaire considérable dans les nations en développement. D'après les projections de l'Organisation mondiale de la santé, on compte chaque année 16 millions de cas de fièvre typhoïde à l'échelle mondiale, entraînant environ 600 000 décès. Par ailleurs, une multitude de maladies diarrhéiques sont provoquées par des salmonelles (Hensel, M. 2000) en particulier chez les populations vulnérables telles que les jeunes enfants, les personnes âgées et les individus immunodéprimés (Agregán, *et al.*, 2021).

L'infestation des denrées alimentaires par *Salmonella* . pose une problématique significative pour la sécurité des consommateurs et représente un enjeu constant pour le secteur agroalimentaire (Agregán, *et al.*, 2021). La capacité de *Salmonella* à persister et à proliférer dans une grande variété de matrices alimentaires, ainsi que sa présence potentielle à différentes étapes de la chaîne de production, de la ferme à la table (GARRY, 2004). Insistant sur l'importance de systèmes de contrôle et de suivi performants. Les enjeux sont multiples et englobent la sauvegarde de la santé des consommateurs, la préservation de l'image des sociétés agroalimentaires, ainsi que l'anticipation d'importantes pertes financières liées aux retraits de produits.

En réponse à cette situation, ce travail vise à étudier les méthodes microbiologiques traditionnelles actuellement mises en œuvre pour le suivi des espèces de *Salmonella* dans les produits alimentaires.

L'objectif de cette recherche est d'examiner les enjeux liés à la contamination des denrées alimentaires par *Salmonella*, en mettant l'accent sur les points suivants :

1. Examiner les techniques microbiologiques conventionnelles utilisées pour surveiller et contrôler la présence de *Salmonella s.* dans les produits alimentaires
2. Évaluer l'efficacité et les limites de ces approches.
3. Proposer des actions pour améliorer la surveillance et le contrôle de *Salmonella* . dans l'industrie agroalimentaire.

Pour réaliser ces objectifs, nous avons élaboré le plan de travail suivant :

- Introduction
- Chapitre 1 : *Salmonella* : Caractéristiques, épidémiologie et risques
- Chapitre 2 : Techniques microbiologiques classiques pour la détection et l'identification de *Salmonella*
- Chapitre 3 : Surveillance et contrôle de *Salmonella* . Dans les produits alimentaires
Surveillance microbiologique des aliments
- Conclusion.

Chapitre I :

***Salmonella* . :**

**Caractéristiques,
épidémiologie et risques**

chpitre I. *Salmonella* . : Caractéristiques, épidémiologie et risques

I.1Description de *salmonella* : taxonomie, caractéristiques morphologique, physiologiques et biochimique

I.1.1 Taxonomie:

Salmonella a été décrite pour la première fois par Eberth en 1880 et cultivée par Gaffky en 1884 (Burrows, 1959). On a découvert très tôt que *Salmonella* présentait une multitude de structures de surface différentes (antigènes lipopolysaccharidiques/O- et antigènes flagellés 'H-) et que les antisérums dirigés contre ces composants de surface étaient adaptés aux tests d'agglutination pour distinguer de nombreuses souches. Une gamme d'antisérums spécifiques a été établie par Kauffmann et White, permettant de distinguer plus de 2000 souches ('sérovars-). Une nomenclature binomiale a été introduite pour ces sérovars (par exemple *Salmonella typhimurium* ; *Salmonella enteritidis*), comme s'il s'agissait d'espèces distinctes. Cette conception n'est plus défendable en l'état actuel des connaissances, mais cette nomenclature binomiale est encore souvent utilisée aujourd'hui pour des raisons pratiques.

Le sérotypage est encore aujourd'hui d'une grande utilité pratique pour le diagnostic microbiologique et la surveillance épidémiologique. Cependant, il ne s'agit pas d'une méthode pour établir la parenté phylogénétique entre les différentes souches du genre *Salmonella*. Ce n'est que récemment que des tentatives ont été faites pour introduire des schémas de classification basés sur la phylogénie. Les analyses d'hybridation de l'ADN, et les biotypage sont été utilisés. Sur la base des résultats de ces analyses moléculaires, le genre *Salmonella* a été divisé en deux espèces, *Salmonella bongori* et *Salmonella enterica*. L'espèce *Salmonella enterica* se divise en 7 sous-espèces, appelées I, II, IIIa, IIIb, IV, VI, et VII. Les souches d'une sous-espèce de *S. enterica* sont divisées en différents sérovars sur la base de leur modèle d'agglutination. Le sérovar n'est pas indiqué en minuscules et en italiques, mais en majuscules et en caractères normaux, afin d'indiquer clairement qu'il ne s'agit pas d'une espèce, mais d'une désignation de souche ou d'isolat

(Fig 1)(Mirold-Mei, S *et al.*, 2001).

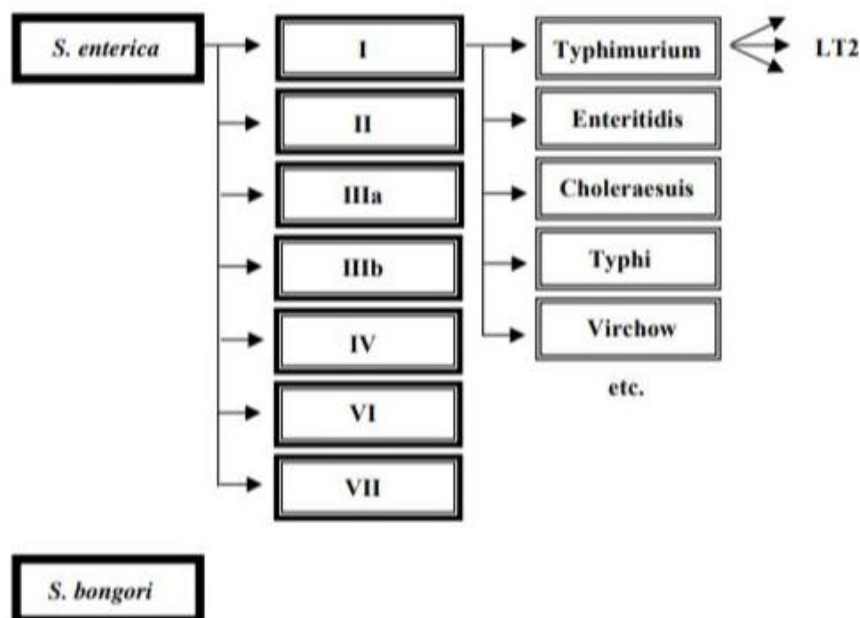


Figure 1. Taxonomie des *salmonella* (Mirolid-Mei, S *et al.* , 2001).

I.1.2 Caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimiques:

Salmonella est un bacille non sporulé, facultativement aérobie, de la famille des *Enterobacteriaceae* et possédant une coloration Gram négative. Sa taille varie entre 0,4-0,6×2-3 µm. Elles se déplacent grâce à des flagelles péritriches, à l'exception de *Salmonella Pullorum* et *Salmonella Gallinarum* qui sont non mobiles. Par ailleurs, *Salmonella* se développe idéalement à une chaleur de 35°C à 37°C, un pH approximatif de 6,5-7,5 et une activité aquatique allant de 0,94 à 0,84. ; elles présentent aussi une sensibilité à la chaleur et sont généralement éliminées à des températures de 70°C ou plus ; par conséquent, elles sont vulnérables à la pasteurisation. L'inhibition complète de la croissance se produit à des températures inférieures à 7°C, à un pH inférieur à 3,8 ou à une activité de l'eau inférieure à 0,94, mais elles résistent au séchage, même pendant des années. Les *salmonelles* produisent de l'acide lors de la fermentation du glucose; elles réduisent les nitrates en nitrites et ne produisent pas de cytochrome oxydase. En outre, *S.*

typhi produit du gaz (H₂S) lors de la fermentation du sucre. Les salmonelles sont non capsulées, à l'exception de *S. Typhi*, *S. Paratyphi C* et de certaines souches de *S. Dublin* (Elmi, et al., 2021).

I.1.3 Teste biochimique :

Selon (Rahman et al., 2019) (tableau 1)

- Test TSI : Une bactérie qui ne fermente pas le lactose et qui, en revanche, fermente le glucose, génère initialement une réaction jaune (réaction acide/acide) après 8 heures. Cependant, cette réaction se métamorphose en rouge après 24 heures (**fig 3**).
- Test au citrate : Des bactéries sont introduites dans un milieu enrichi en citrate de sodium et un indicateur de pH comme le bleu de bromothymol. Le citrate est décomposé en oxaloacétate et acétate par l'enzyme citrase, ce qui indique son utilisation (**fig 3**).
- Test au rouge de méthyle : Le test MR, qui constitue la partie « M » des quatre tests IMViC, est employé pour distinguer les bactéries entériques en fonction de leur modèle de métabolisme du glucose. Toutes les bactéries entériques génèrent initialement de l'acide pyruvique à partir du métabolisme du glucose (**fig 3**).
- Test de Voges-Proskauer : Il sert à identifier la présence d'acétoïne dans un milieu liquide contenant des bactéries. Un résultat positif est signalé par une couleur rouge cerise, alors qu'un résultat négatif est indiqué par une teinte jaune-brun. (**fig 2**) .
- Test de l'indole : Ce test est un test biochimique réalisé sur des espèces bactériennes. Un résultat positif se traduit par la présence d'une couleur rouge ou rouge-violet dans la couche d'alcool superficielle du bouillon. Un résultat négatif apparaît en jaune (**fig 2**).
- Test de motilité : Les bactéries qui ne se déplacent pas produisent généralement des colonies limitées à la ligne de stabulation, avec des contours clairement délimités. Les flagelles, qui sont des structures spécifiques, permettent aux bactéries mobiles de se déplacer (**fig 2**).
- Test de l'oxydase : Ce test repose sur la détection du cytochrome oxydase dans les bactéries, qui catalyse le transfert d'électrons entre les donneurs d'électrons et le colorant redox.
- Test de la catalase : Le test de catalase parmi les trois tests majeurs employés par les microbiologistes pour la détermination des espèces bactériennes. Si le mélange génère des bulles ou de la mousse, on considère que l'organisme est « catalase-positif ». Sinon, l'organisme est qualifié de « catalase négatif ».

Tableau 1. Caractéristique biochimique de *salmonella* (Rahman *et al.*,2019).

Organisme	INDOL	TSI	CITRATE	MOTILITY	UREAS	MR	VP	OXYDASE	CATALASE
<i>salmonella</i>	-	+	+	+	-	+	-	-	+

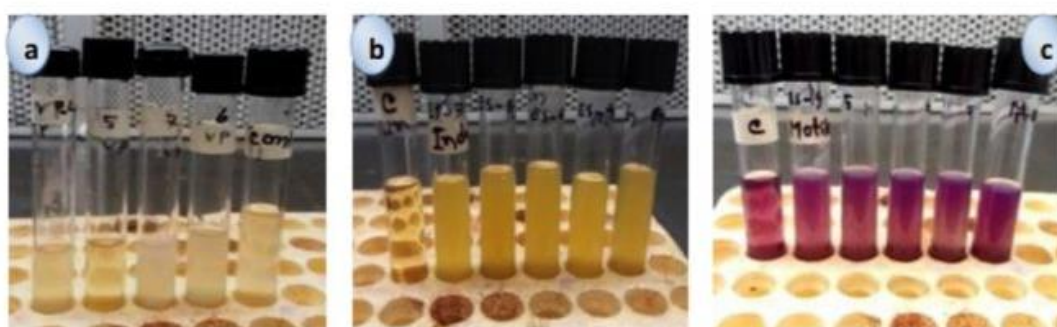


Figure 2.Testes biochimiques(a) Test de Voges-Proskauer (à droite montrant le contrôle) ; (b) Test indole (tube gauche montrant le contrôle) et(c) Test de motilité (à gauche montrant le contrôle)(Rahman *et al.*,2019).

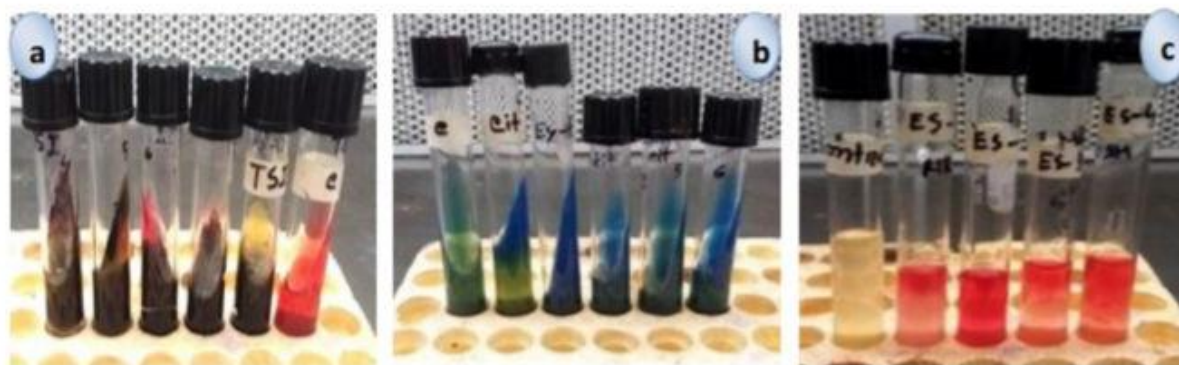


Figure 3.Testes biochimiques (a) Test TSI (à droite montrant le contrôle négatif) ; (b) Test au citrate (à gauche montrant le contrôle) (c) Test au rouge de méthyle (à gauche montrant le contrôle négatif)(Rahman *et al.*,2019).

I.2 Épidémiologie des infections à *Salmonella* : sources de contamination, modes de transmission, populations à risque :

Les *salmonelles* sont des bacilles à Gram négatif associés à des infections animales et humaines. Les infections à *Salmonella*. Entraînent des taux de morbidité élevés non seulement dans les pays en développement, mais aussi dans les pays industrialisés, et une mortalité élevée principalement dans les pays les plus pauvres du monde en développement (Sánchez *et al.*, 2011).

Aujourd'hui encore, les effets des infections à *Salmonella* sur des communautés entières représentent un fardeau économique pour les pays en développement, mais aussi pour les pays industrialisés. Deux maladies associées à *Salmonella*. Plusieurs souches de NTS, notamment les sérovars Typhimurium, Enteritidis, Newport et Heidelberg, ont leurs réservoirs au sein des espèces d'élevage animal. Les sérovars Enteritidis et Typhimurium sont, respectivement, les principales causes de salmonellose chez l'homme due à la consommation d'aliments contaminés.

(Dougnon *et al.*, 2017).

I.2.1 Sources de contamination :

La salmonellose, une maladie alimentaire significative, demeure une menace considérable et inadmissible pour la santé publique humaine, que ce soit dans les nations développées ou en développement (Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), 2010). L'évolution de l'infection à *Salmonella* est variable et peut aussi être affectée par le style de vie et les actions humaines, ainsi que par les transformations dans les secteurs industriels, technologiques, commerciaux et touristiques. Les sérotypes de *Salmonella* se rencontrent couramment dans l'environnement et peuvent être présents dans le système digestif de toutes les espèces animales, domestiques comme sauvages, créant ainsi une multiplicité de sources d'infection à *Salmonella*. Selon les informations (EFSA, 2010, FAO/OMS, 2002), *Salmonella* continue d'être une menace sérieuse de maladie alimentaire à l'échelle mondiale. En 2008, la salmonellose a été confirmée dans 131 468 cas humains au sein de l'Union européenne (UE), ce qui en fait la seconde maladie zoonotique la plus fréquemment rapportée chez l'homme, juste après la campylobactériose. Dans l'Union européenne, on a constaté une baisse de 13,5% des cas de salmonellose humaine signalés en 2008 par rapport à 2007. Cependant, un certain nombre de pays européens continuent de montrer une croissance significative, attestant que des efforts constants dans la prévention et le contrôle demeurent indispensables (Carrasco *et al.*, 2012).

Les maladies d'origine alimentaire sont le plus souvent causées par la *Salmonella*. Identifiée comme étant la source principale. On le retrouve essentiellement dans la volaille, les œufs, la viande rouge, le lait cru et l'eau non purifiée. L'œuf peut être un porteur du microbe qui cause l'intoxication alimentaire. Bien qu'elle ne se multiplie pas dans la nourriture, sa propagation est aisée, et même quelques bactéries présentes dans un morceau de poulet insuffisamment cuit peuvent entraîner une maladie. *Salmonella* se classe comme la seconde source la plus courante d'intoxication alimentaire, juste après *Campylobacter*spp. On l'a découverte dans le lait non pasteurisé, les œufs et les produits dérivés d'œufs crus, ainsi que dans la viande et les volailles. Il est possible que des œufs d'apparence parfaitement normaux contiennent *Salmonella* et si ces œufs sont mangés crus ou cuits de manière insuffisante, ils peuvent déclencher une maladie (GHASEMIAN *et al.*,2011).

I.2.2 Mode de transmission :

La transmission de *Salmonella* est souvent liée à des pratiques d'hygiène défailtantes et à un accès restreint à de l'eau saine et consommable. Dans les pays à haut revenu, la diffusion est de plus en plus encouragée par la production commerciale de viande, d'œufs et aliments transformés, comme le chocolat, les piments jalapeño et les cacahuètes. Chez l'homme, l'infection par *Salmonella* peut varier de la maladie sans symptômes à la pathologie systémique grave, surtout chez les personnes âgées et chez celles dont le système immunitaire est affaibli. La salmonellose symptomatique peut se traduire par des crampes abdominales, des troubles de la digestion, de la température élevée et des lésions cutanées. L'antibiorésistance de première et seconde ligne contre *Salmonella*. Représente un danger global pour la santé publique, y compris la résistance aux médicaments au Royaume-Uni (Sivachandran *et al.*,2024).

Dans le secteur avicole, la contamination alimentaire par les salmonelles à l'origine d'intoxications alimentaires est fréquemment liée à une nourriture contaminée. On continue de documenter la présence de *Salmonella* provenant des aliments pour volailles et de leurs composants. Ceci est en partie attribué à l'importante diversité des sources environnementales de *Salmonella* et à son potentiel de contamination croisée lors de la transformation et du stockage des aliments destinés aux animaux. Étant donné que les *Salmonella* ont démontré leur capacité à survivre plusieurs mois dans les conditions de conservation des aliments pour animaux, elles peuvent constituer un enjeu durable pour l'élevage de volailles. Afin de réduire la contamination des aliments destinés aux volailles par *Salmonella*, il est nécessaire de mettre en œuvre des techniques de contrôle lors de la production et de la distribution des aliments, tout en intégrant des technologies d'intervention et

de prévention performantes. Pour atteindre une diminution uniforme de la contamination, il peut être indispensable d'utiliser des méthodes d'échantillonnage représentatives (Maciorowski *et al.*, 2004).

I.2.3 Population à risque :

Individus à Risque face à la *Salmonella*, Toute personne peut être touchée par des infections à *Salmonella*, cependant certaines populations sont particulièrement à risque : selon (Noël *et al.*, 2007).

1. Enfants en bas âge : Leur système immunitaire étant en phase de développement, ils sont plus vulnérables aux infections.
2. Personnes âgées : Augmentation du risque dû à un système immunitaire affaibli et à des maladies préexistantes.
3. Femmes enceintes : Danger de complications pour la mère et le fœtus, y compris des infections sévères.
4. Individus immunodéprimés : Cela englobe les personnes souffrant de maladies persistantes (telles que le diabète), celles qui suivent un traitement immunosuppresseur, ou qui vivent avec le VIH/SIDA.
5. Individus atteints de troubles gastro-intestinaux : Les personnes ayant un historique de maladies intestinales peuvent être davantage exposées à des complications.

I.3 Pathologie de *salmonella* : Mécanisme d'infection, Symptômes cliniques

I.3.1 Mécanisme d'infection :

Les bactéries appartenant au genre *Salmonella* sont des agents infectieux majeurs à l'origine de diverses maladies chez l'homme et les animaux. Leur potentiel pathogène est étroitement associé à des processus d'infection complexes et à des éléments spécifiques de virulence.

- **Adhésion et pénétration des cellules épithéliales de l'intestin.**

L'infection commence lorsque les *Salmonella* avalées résistent à l'acidité de l'estomac et parviennent à l'intestin grêle. Ici, elles se fixent sur les cellules épithéliales intestinales, en particulier les cellules M des plaques de Peyer, à l'aide de structures connues sous le nom d'invasomes. Cette adhésion entraîne une réorganisation du cytosquelette de l'hôte, qui facilite l'internalisation des bactéries (Hansen-Wester, Iet *al.*, 2001).

- **Fonction des îlots de pathogénicité**

Les *Salmonella* contiennent des îlots de pathogénicité (SPI) sur leur chromosome, qui sont indispensables pour leur capacité à provoquer des maladies. Par exemple, le SPI1 est associé à un système de sécrétion de type III (T3SS) qui joue un rôle dans l'invasion des cellules, alors que le SPI-2 (Îlot de pathogénicité des salmonelles 2) abréviation est essentiel pour la survie et la reproduction à l'intérieur des phagocytes. (Hansen-Wester, I., &Hensel, Met *al.*, 2001).

- **Multiplication etsurvieà l'intérieur de la cellule**

Après leur entrée dans les cellules, les*Salmonelles* se logent dans des vacuoles désignées sous le nom de SCV (Vacuoles contenant de la *Salmonella*). Elles esquivent la fusion avec les lysosomes, favorisant un milieu favorable à leur prolifération. Lesystème de sécrétion de type III(T3SS) permet l'injection de protéines effectrices dans les cellules hôtes, ce qui favorise leur survie à l'intérieur de la cellule (Stévenin, V *et al.*, 2017).

- **Propagation systémique et implication des organes profonds**

Suite à une prolifération, les *Salmonella* ont la capacité de franchir la barrière épithéliale et d'entrer dans le flux sanguin, engendrant ainsi une bactériémie. Elles ont une préférence spécifique pour des organes comme le foie, la rate et les ganglions lymphatiques, où elles sont capables de provoquer de sévères infections systémiques (Gordon, M. A. *et al.*, 2023)

- **Autres facteurs de virulence**

En plus des SPI, les plasmides de virulence présents chez *Salmonella* renforcent leur potentiel à provoquer des infections systémiques. Ces plasmides codent pour des protéines telles que la résistance à la destruction du complément, qui offrent une résistance au complément sérique, ainsi que pour des entérotoxines qui participent aux manifestations gastro-intestinales (Rosselin, *Met al.*, 2021).

- **Réponse immunitaire et évasion**

Les *Salmonelles* ont développé des mécanismes pour échapper à la réponse immunitaire de l'hôte. Par exemple, elles peuvent modifier les voies de signalisation intracellulaires, inhiber la fusion phagosome-lysosome et induire l'apoptose des macrophages, ce qui leur permet de survivre et de se multiplier à l'intérieur des cellules immunitaires (Hurley, *Det al.*, 2014).

- **Manifestations cliniques et diagnostic**

Les infections à *Salmonella* se manifestent principalement par des gastro-entérites aiguës, avec des symptômes tels que diarrhée, fièvre, vomissements et douleurs abdominales. Dans les cas graves, notamment chez les populations vulnérables (nourrissons, personnes âgées, immunodéprimés), l'infection peut se propager au système sanguin, entraînant des complications sévères. Le diagnostic repose sur l'identification des *Salmonella* dans les selles ou le sang par des cultures microbiologiques (Centers for Disease Control and Prevention., 2024).

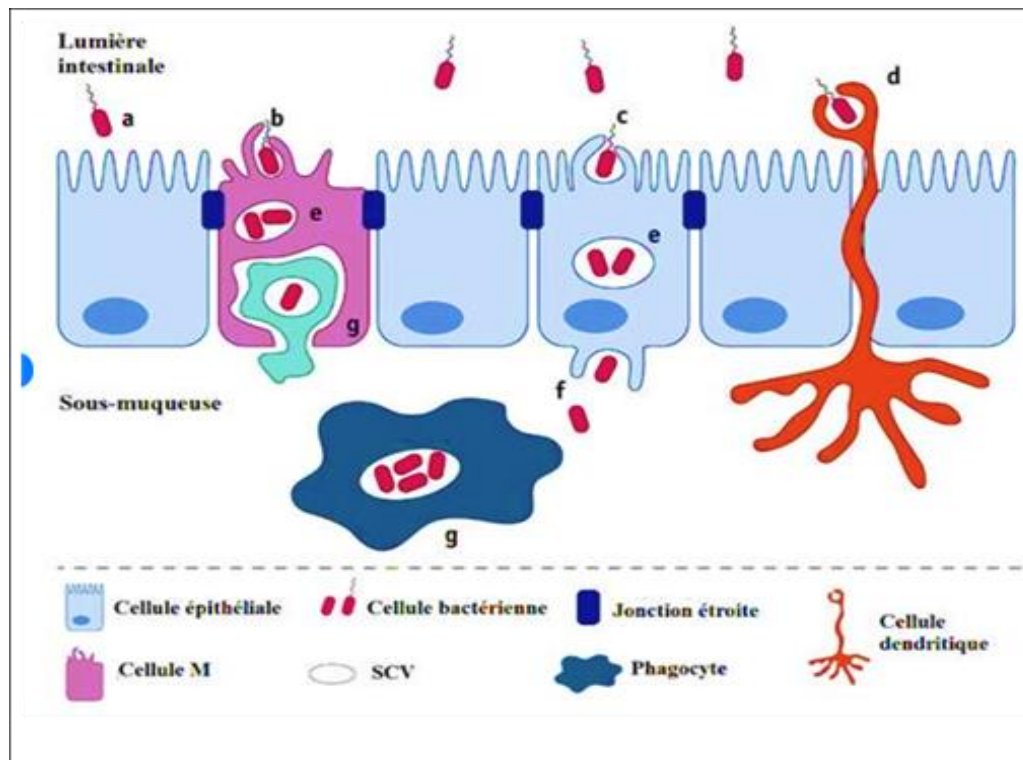


Figure 4 . Pathogénèse d'une infection *salmonella* (Dos Santos *et al.*, 2018)

L'infection à *Salmonella* débute généralement après l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés. La bactérie adhère d'abord aux cellules M de l'épithélium intestinal, qui lui permettent de traverser la barrière intestinale et d'atteindre la sous-muqueuse. Elle peut également envahir directement les cellules épithéliales grâce à un mécanisme de "ruffling" facilitant son internalisation. Par ailleurs, certaines cellules dendritiques capturent directement *Salmonella* depuis la lumière intestinale, accélérant ainsi son accès au système immunitaire. Une fois dans la sous-muqueuse, la bactérie est phagocytée par les cellules immunitaires (comme les macrophages), mais elle parvient à survivre et à se multiplier dans des vacuoles spécifiques (SCV), échappant ainsi à la réponse immunitaire et favorisant la dissémination de l'infection dans l'organisme.

I.3.2 Symptômes cliniques de l'infection à *Salmonella*

Les infections à *Salmonella* sont l'une des causes les plus fréquentes de maladies d'origine alimentaire dans le monde entier. Elles sont principalement causées par l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés par des bactéries du genre *Salmonella*. Ces infections peuvent provoquer une large gamme de symptômes allant de gastro-entérite bénigne à des infections plus graves, comme la septicémie.

1. Symptomatologie

Les symptômes de l'infection par *Salmonella* varient en fonction de la souche bactérienne, de la virulence et de l'état immunitaire de l'hôte. En général, les symptômes apparaissent entre 6 et 72 heures après l'ingestion de la bactérie.

a. **Gastro-entérite aiguë** : La forme la plus courante de l'infection à *Salmonella* est la gastro-entérite aiguë. Elle se manifeste par :

- **Diarrhée** : La diarrhée est souvent aqueuse et peut contenir des traces de sang dans les cas graves.
- **Fièvre** : Une température élevée est souvent présente, parfois accompagnée de frissons.
- **Douleurs abdominales** : Crampes abdominales fréquentes et douleurs diffuses dans le bas-ventre.
- **Nausées et vomissements** : Ces symptômes surviennent fréquemment, particulièrement chez les jeunes enfants.
- **Fatigue globale** : Les patients peuvent subir une grande fatigue due à la déshydratation et à l'infection.

Chez les personnes en bonne santé, les symptômes tendent à s'estomper après 4 à 7 jours. Cependant, une attention médicale est indispensable pour éviter une déshydratation grave

Et d'autres complications (Centers for Disease Control and Prevention., 2024).

b. **Fièvre typhoïde et paratyphoïde**

Les variantes de *Salmonella typhi* et *Salmonella paratyphi* engendrent des formes plus sévères d'infections, comme la fièvre typhoïde et paratyphoïde. On associe fréquemment ces infections à des symptômes tels que :

- **Fièvre persistante** : La température corporelle peut grimper jusqu'à 39-40°C sur une période de plusieurs jours.

- Maux de tête sévères : Céphalées fortes et durables.
- Douleurs abdominales : Ces douleurs sont souvent diffusées sur l'abdomen, mais peuvent parfois être liées à une constipation ou à des mouvements intestinaux rares.
- Éruption cutanée : Des marques rosées (taches semblables à des roses) peuvent se manifester sur le ventre.
- Hépatomégalie et splénomégalie : Certains patients peuvent présenter une hypertrophie du foie et de la rate.

Sans un traitement adéquat, les fièvres typhoïde et paratyphoïde peuvent s'avérer fatales, surtout en présence d'une septicémie (VerywellHealth *et al.*, 2024).

2. Complications liées à l'infection

Si la contamination par *Salmonella* n'est pas correctement prise en charge ou si elle est mal gérée, cela peut conduire à des complications sérieuses :

- Septicémie : Quand la bactérie envahit le système sanguin, cela peut entraîner une septicémie, accompagnée de symptômes de choc septique, d'insuffisance multiviscérale et d'une menace mortelle.
- Perforation intestinale : Une perforation du côlon peut survenir suite à une inflammation grave des parois intestinales, provoquant ainsi une péritonite.
- Hépatomégalie et splénomégalie : Il est possible que certains patients montrent une augmentation de la taille du foie et de la rate
- Arthrite réactive : Certaines personnes peuvent être sujettes à des douleurs articulaires et à de l'inflammation (syndrome de Reiter), en particulier après une infection par la *Salmonella* (MayoClinic *et al.*, 2024).

3 Diagnostic : Le diagnostic d'une infection à la *Salmonella* se déroule en plusieurs étapes

- Examen clinique : Il implique l'évaluation des symptômes et des antécédents médicaux.
- Analyses de selles : La culture de selles permet d'identifier le type précis de *Salmonella*. La coproculture est considérée comme le test de référence pour diagnostiquer une infection par la *Salmonella*.
- Hémoculture : Pour les cas sévères, surtout lorsqu'une septicémie est suspectée, une culture du sang est réalisée.

Test sérologique : Dans certains cas, les tests sérologiques sont utilisés pour identifier les anticorps contre la bactérie (Centers for Disease Control and Prevention.,2024)

4 Traitement :

Dans la plupart des situations, une infection à *Salmonella* se résout d'elle-même sans avoir besoin de traitement antibiotique. Toutefois, un traitement antibiotique pourrait être requis pour les patients présentant des risques ou en cas de complications sévère

- Hydratation par voie orale et intraveineuse : Il est indispensable de reconstituer les fluides et les électrolytes pour éviter la déshydratation.
- Antibiotiques : Des médicaments tels que la ciprofloxacine ou l'azithromycine sont employés pour soigner les infections sévères à *Salmonella*
- Médicaments antidiarrhéiques : Dans certaines situations, l'usage de médicaments pour contrôler la diarrhée peut se faire sous contrôle médical (Centers for Disease Control and Prevention.,2024).

5 Prévention :

Les mesures préventives contre *Salmonella* comprennent :

- Hygiène alimentaire : Veiller à bien cuire les viandes, en particulier les volailles et les œufs. Lavez soigneusement les fruits et légumes crus.
- Hygiène personnelle : Se laver régulièrement les mains, en particulier après avoir manipulé des aliments crus ou après être allé aux toilettes.
- Vaccination : Un vaccin contre la fièvre typhoïde est disponible et recommandé pour les voyageurs se rendant dans des régions à risque(WorldHealthOrganization.,2018).

Chapitre II :

**Techniques microbiologiques
classiques pour la détection et
l'identification de *Salmonella***

chpitre II. Techniques microbiologiques classiques

II.1 Techniques de culture :

II.1.1 Isolement et identification présomptive de *Salmonella* :

L'isolement de *Salmonella* commence généralement par un enrichissement dans des milieux liquides non sélectifs (comme l'eau tamponnée peptonisée) pour permettre la croissance de bactéries potentiellement en faible nombre. Par la suite, des milieux sélectifs sont utilisés pour inhiber la croissance de la flore concurrente et favoriser la croissance de *Salmonella* (Almeida *et al.*, 2015).

II.1.1.1 Milieux de culture sélectifs et différentiels :

Plusieurs milieux de culture sélectifs et différentiels sont couramment utilisés : (Saoussane, 2021).

1. Gélase *Salmonella-Shigella* (ss) :

Le milieu sélectif SS (*Salmonella-Shigella*) est conçu pour isoler les bactéries aérobies *Salmonella*. Et *Shigella*. À partir d'échantillons provenant des selles, de la bouche ou de l'intestin. Son fonctionnement s'appuie sur l'inhibition de la flore secondaire par le biais du vert brillant et des sels biliaires, riches en thiosulfate et en citrate, contrôlent ainsi le développement des entérobactéries commensales. Ce milieu chromogène facilite l'identification des colonies de *salmonelles* et *shigelles* qui fermentent le saccharose ou le lactose en acides gras par un changement de couleur. Malgré la faible agglutination des antigènes H de *Salmonella*, ce milieu favorise leur développement sélectif, indispensable pour une identification différentielle et un diagnostic. Le lactose, un sucre réactif présent dans le milieu de culture, permet d'identifier une éventuelle prolifération des coliformes (colonies).

De plus, les colonies à centre noir se forment en présence d'ions fer lorsque des bactéries produisent de l'H₂S par réduction du thiosulfate.

- Colonies qui fermentent le lactose : elles apparaissent de couleur rouge.
- Colonies sans lactose : colonies dépourvues de couleur.
- Colonies positives à H₂S : colonies présentant un centre noir.

L'identification spécifique de *Shigella* sera effectuée à partir des colonies dépourvues de couleur, tandis que celle de *Salmonella* se fera à partir des colonies sans couleur ou avec présence de centre noir (**fig 5**) (BENZEID *et al.*, 2024).



Figure 5: Culture bactérienne sur gélose salmonella shigella (BENZEID *et al.*., 2024).

2. Gélose Xylose Lysine Désoxycholate(XLD) :

Le milieu XLD (Xylose Lysine Désoxycholate) est un dispositif de culture sélectif conçu pour l'extraction de *Salmonella* et *Shigella* à partir de spécimens cliniques et alimentaires. Grâce à sa composition, il est possible de distinguer ces agents pathogènes par la fermentation de la xylose, la décarboxylation de la lysine et la production d'hydrogène sulfuré. Le désoxycholate de sodium freine la prolifération des coliformes sans nuire aux cibles, ce qui rend l'environnement particulièrement performant pour les échantillons à diversité microbienne. Le milieu XLD, préconisé pour le diagnostic, offre une sensibilité et une sélectivité supérieures par rapport à d'autres milieux, classiques les salmonelles colonies rouges à centre noir (Gomez, J *et al.*, 2004).

3. Gélose Hektoen Entérique (HE):

Sur la gélose Hektoen, *Salmonella* se manifeste par des colonies éclatantes de teinte bleu-verdâtre avec un centre noir et une forme bombée(**fig6**) (Ait Alioua *et al.*, 2013).

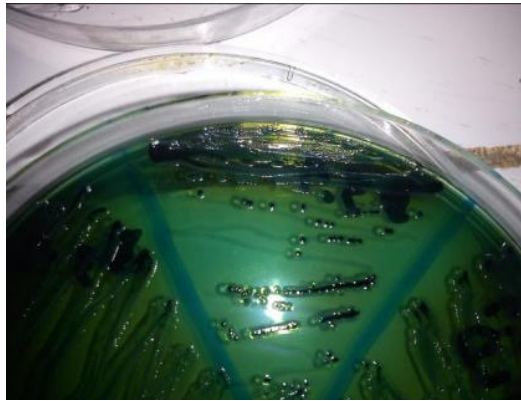


Figure 6. *Salmonella* sur gélose hektowen (Ait Alioua *et al.*,2013).

II.1.2 Tests biochimiques et sérologiques:

- **Gélose inclinée au Triple SugarIron (TSI) :**

Une inclinaison alcaline en rouge, indiquant l'absence de décomposition du lactose et/ou du saccharose. Un culot de couleur jaune acide, indicatif de la fermentation du glucose. Une émission de gaz se manifestant par la création de bulles, qui soulèvent parfois la gélose., La production de sulfure d'hydrogène (H₂S), signe de l'usage du chlorure ferreux, est à l'origine du noircissement de la gélose (**fig 7**) (Abdelhaouiet *al.*,2013).



Figure 7. *Salmonella* sur (TSI) (Abdelhaoui *et al.*,2013).

- **Milieu urée indole :**

Ce test permettait d'établir si la bactérie examinée avait la capacité d'hydrolyser l'urée et de générer de l'indole par la décomposition du tryptophane. Le tube renfermant l'urée a été inoculé avec la bactérie isolée, contenant une öse. Après le passage à l'étuve, une teinte rouge-fuchsia au centre signalait. L'hydrolyse de l'urée en suspension et l'alcalinisation du milieu. Au contraire, une réaction défavorable était notée lorsque le tube demeurait de teinte jaune. Dans la recherche de l'indole, l'apparition d'un cercle rouge suite à l'ajout de deux gouttes de réactif de Kovacs indiquait sa présence (**fig 8**) (Abat, C. *et al.*, 2012).

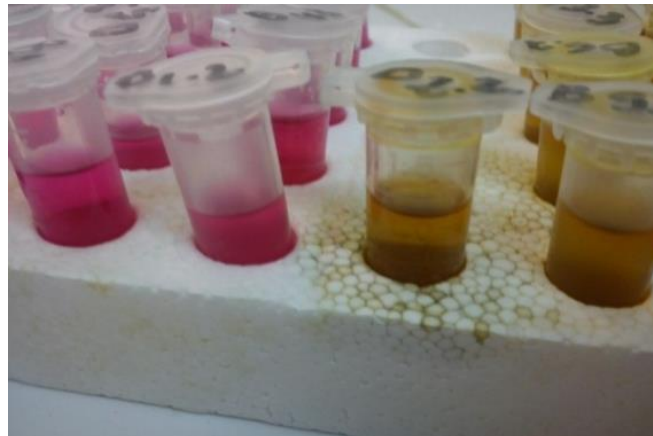


Figure 8. Teste urée indole de *salmonella* (Abdelhaoui *et al.*, 2013).

- **Milieu LDC (Lysine Décarboxylase) :**

Il est fortifié en L-lysine et présente une faible teneur en glucose. Cet environnement permet d'examiner les composants en conditions aérobies et anaérobies. En aérobiose, la lysine désaminase (LDA) est produite et catalyse la conversion de la lysine en acides cétoniques. Ces derniers se combinent avec les sels de fer, donnant ainsi une teinte rouge vinée à la surface de l'inoculum(**fig 9**) (Silue, N. *et al.*., 2005).

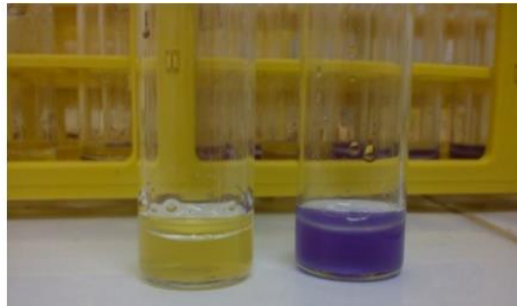


Figure 9. Teste de lysine de *salmonella* (Abdelhaoui *et al.*,2013).

- **Teste VP, RM :**

Le teste rouge de méthyle donne une réaction positive et Voges-Proskauer donne une réaction négative (Abdelhaoui *et al.*,2013).

- **Milieu Citrate de Simmons :**

Usage du citrat comme unique source de carbone (**fig 10**) (Moreau *et al.*, (1974).

- **Test β -galactosidase (ONPG) :**

Un disque ONPG est introduit dans le résidu de la suspension bactérienne suite à tous les tests précédents. Le tube est placé en incubation à une température de 37 °C pendant une durée de 24 heures. L'émergence d'une couleur jaune signale une réaction favorable (**fig 10**) (Abdelhaoui *et al.*,2013).



Figure 10. Teste de citrar et teste onpg de *salmonella* (Abdelhaoui *et al.*,2013).

Tableau 2. Identification biochimique, enzymatique et sérologique de *salmonella* (MacFaddin, J.F. *et al.*, 2000 ; Le Minor, L., *et al.*, 1987)

Test biochimique	Résultat	Test enzymatique	Résultat	Test sérologique	Résultat
Catalase	+	ONPG	-	Antigène O	Situé dans la paroi (LPS) - stable à la chaleur
Oxydase	-	Gélatinase	-	Antigène H	Flagellaire – peut exister en 2 phrases (1et 2)
Glucose	+	Phénylalanine désaminase	-	Antigène VI	Capsulaire - spécifique à quelques sérotypes
Lactose	-	H ₂ S	+		
Citrate	+				
Uréase	-				
Indole	-				
Ldc (décarboxylase de lysine)	+				

II.2 Techniques de numération :

II.2.1 Méthodes de numération des cellules de *Salmonella* dans les échantillons alimentaires :

Il est crucial de compter le nombre de cellules de *Salmonella* pour déterminer le degré de contamination

II.2.1 Numération microscopique:

Les méthodes de dénombrement microscopique permettent d'identifier les microorganismes lors de l'inspection des produits, en observant un échantillon sous un microscope optique (Yamina, M. E. R. Z. O. U. K. 2022). Utilisant des lames spéciales (comme les cellules de Thoma et de Malassez) et des colorants pour visualiser et compter les microorganismes au microscope (NAIMI, M. Cahier technique 2).

II.2.2 Numération en milieu solide:

- . **Dans l'ensemble** : Méthode conventionnelle pour les microorganismes aérobies, consistant à inoculer des dilutions dans des plaques de Pétri remplies d'un milieu nutritif.
- . **Dispersion à la surface** : Préféré pour les environnements sélectifs, ce qui permet d'examiner les caractéristiques coloniales (NAIMI, M. Cahier technique-2).
- . **Technique mini-MSRV-MPN pour l'évaluation quantitative et l'identification de *Salmonella*:**

Analyses de nature microbiologique pour la détection de *Salmonella* soit par la méthode traditionnelle pour l'isolement et l'identification qualitative de *Salmonella*, ou par la technique mini-MSRVMPN pour l'évaluation quantitative et l'identification de cette bactérie (Fablet *et al.*, 2006).

II.2.2 Importance de la numération pour évaluer le niveau de contamination et le risque pour la santé :

Il est crucial de compter les cellules de *Salmonella* pour :

- Évaluer le degré de contamination des aliments : Un degré élevé de pollution révèle un danger accru pour la santé des consommateurs.

- Surveiller l'efficacité des mesures de contrôle : La numération permet de déterminer si les mesures de contrôle instaurées sont efficaces pour diminuer le taux de contamination.
- Apprécier le danger pour la santé des consommateurs : Les résultats de la numération peuvent servir d'indicateur pour évaluer le danger d'infection chez les consommateurs.

II.3 Techniques de confirmation :

II.3.1 Typage moléculaire (PCR, séquençage) et identification sérologique et:

- **PCR** est une technique d'analyse très efficace pour identifier les agents pathogènes alimentaires, permettant d'amplifier un segment d'ADN des millions de fois en quelques heures. Pour *Salmonella*, plus de 30 gènes de virulence ont été identifiés, parmi lesquels des gènes fortement conservés comme ceux codant pour des protéines de fimbriae, ainsi que le gène 16S rDNA. Les chercheurs utilisent des paires de primers PCR spécifiques pour cibler ces gènes, facilitant ainsi l'identification précise des espèces ou souches de *Salmonella* (Günel, E.*et al.*,2014).
- **Test sérologique** (le modèle White-Kauffmann)
L'attribution des sérovars de *Salmonella* est traditionnellement réalisée en se basant sur la méthode du minor. Dans cette méthode phénotypique, l'identification des antigènes de surface se fait par agglutination des cellules bactériennes à l'aide d'antisérums. D'après ce modèle, un sérotype est identifié en fonction des antigènes somatiques (O), des antigènes flagellaires (H) et des antigènes capsulaires (Vi) qui se trouvent à la surface de *Salmonella* (Shi *et al.*,2015).

Chapitre III :

Surveillance et contrôle de
***Salmonella*. Dans les produits**
alimentaire

chpitre III. Surveillance et contrôle de *Salmonella*

III.1 Surveillance microbiologique des aliments :

La surveillance microbiologique des aliments en vue de détecter la présence de *Salmonella*. est un élément essentiel des programmes de sécurité alimentaire dans le monde entier, visant à détecter et à contrôler la contamination dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Les *Salmonella*. Sont parmi les pathogènes bactériens les plus courants responsables des maladies d'origine alimentaire, souvent transmises par des produits animaux crus ou insuffisamment cuits tels que la volaille, les œufs et les produits laitiers, ainsi que par des produits frais contaminés. La surveillance implique une combinaison de méthodes basées sur la culture, de techniques moléculaires telles que la PCR (réaction en chaîne de la polymérase) et, de plus en plus, de systèmes de détection rapide basés sur des biocapteurs. Les biocapteurs représentent une innovation majeure. Ces dispositifs associent des éléments biologiques (anticorps, sondes ADN) à des transducteurs (optiques, électrochimiques, etc.), permettant de détecter la présence de la bactérie en un temps très court, parfois en moins d'une heure.

Ces méthodes permettent d'identifier rapidement la contamination à différents stades de la production et de la transformation des aliments. Les programmes de surveillance, tant nationaux qu'internationaux (par exemple, OMS, EU-RASFF et USDA-FSIS), testent régulièrement des échantillons d'aliments afin de suivre les épidémies, d'identifier les sources d'infection et de mettre en œuvre des mesures de contrôle. Une surveillance efficace permet non seulement de prévenir les épidémies à grande échelle, mais aussi de favoriser le respect de la réglementation et la confiance des consommateurs. (Alves *et al.*, 2015 ; Bianchi, D. M *et al.* ,2023).

III.1.1 Programmes de surveillance nationaux et internationaux :

1. Surveillance nationale de *Salmonella spp.* en Algérie :

En Algérie, les souches de *Salmonella* représentent un risque majeur pour la santé publique. Des recherches ont démontré que les produits de viande, notamment la volaille et le bœuf, sont fréquemment infectés par la *Salmonella spp.* Selon une recherche récente menée par (Boudrahem *et al.*, 2021), 19,4 % des échantillons de viande à Alger étaient infectés par *Salmonella*, ce qui témoigne de la persistance de cet agent pathogène dans le circuit d'approvisionnement alimentaire.

L'adoption de systèmes de gestion de la sécurité alimentaire tels que l'analyse des risques et des points critiques pour leur maîtrise (HACCP) constitue un défi de taille pour l'Algérie. Selon

(Boudraa *et al.*, 2020), si certaines industries agroalimentaires algériennes ont mis en oeuvre des systèmes HACCP, il subsiste des problèmes liés à la formation, aux contraintes de ressources et aux connaissances techniques, en particulier dans les petites entreprises agroalimentaires.

2. Programmes de surveillance internationaux :

Sur la scène internationale, les programmes de surveillance mondiaux fournissent des données essentielles pour aider les pays à suivre et à atténuer la contamination par *Salmonella*. Parmi les principaux programmes, citons :

- Le Réseau mondial des infections d'origine alimentaire (GFN) de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) : Ce réseau facilite le partage des données de surveillance et des meilleures pratiques entre les pays pour aider à contrôler les agents pathogènes d'origine alimentaire, y compris les salmonelles. Il assure également la formation des professionnels de la sécurité alimentaire et mène des études épidémiologiques sur les maladies d'origine alimentaire (Ayele *et al.*, 2011)
- L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) : L'EFSA propose chaque année des comptes rendus sur les maladies d'origine alimentaire en Europe, incluant des informations approfondies sur la fréquence de la salmonelle dans les aliments comme la volaille, les œufs et le porc. Selon le dernier rapport de l'EFSA concernant les zoonoses (2021), on observe une diminution marquée de la présence des salmonelles dans les aliments européens, mettant en évidence l'efficacité des actions de contrôle comme la vaccination et l'intensification du suivi (EFSA *et al.*, 2021).
- En plus des mesures de contrôle actives, le réseau *Salmonella* instauré une surveillance basée sur les événements pour détecter les contaminations dans la chaîne alimentaire. Plus de 150 laboratoires vétérinaires, publics et privés, ont volontairement rejoint ce réseau, couvrant ainsi la plupart des départements français. C'est le Laboratoire de sécurité des aliments de l'Anses à Maisons-Alfort qui en assure la conduite. L'un de ses objectifs majeurs est la collecte et la caractérisation, à l'échelle nationale, des variétés de *Salmonella* d'origine non humaine. Depuis l'an 2000, cette initiative a permis de collecter environ 14 500 échantillons des *salmonelles* chaque année. Cela nous a aidés à comprendre la variété des salmonelles sur toute la chaîne alimentaire et à observer leur progression dans les différents domaines, depuis l'animal jusqu'au consommateur.

Tableau 3 .Surveillance officielle de la contamination par *Salmonella* des denrées alimentaires d'origine animale à différents stades de la chaîne, France (Anses *et al.* , 2012)

Stade/matrice (année)	Filière	prélèvements (N) Prévalence	Prévalence Salmonella (%) [IC95%]
Abattoir/carcasse (2010)	Poulet	67	10,4 [4,3-20,4]
	Dinde	30	16,7 [5,6-34,7]
Production/VSM* (2010+2006)	Poulet	76	21,1 [13,4-28,7]
	Dinde	168	17,9 [13,0-22,7]
Production/préparations de viandes, viandes hachées (2006)	porc	26	11,5 [2,5-30,2]
	Dinde	26	15,4 [4,4-34,9]
Distribution/viandes fraîches (2010+2009)	Porc	691	2,5 [1,5-3,4]
	Dinde	323	7,4 [5,0-9,8]
Distribution/préparations de viande et produits à base de viande (2008)	porc	327	2,4 [1,1-4,8]
	votailles	72	4,2 [1,5-11,5]
	Porc	78	5,1 [2,1-12,5]
	Porc et volaille	18	5,6 [1,3-26,0]
Distribution/produits à base de viande (2010)	Porc	490	0 [0,0-0,6]
Première mise sur le marché/végétaux à consommer crus (2011)	Fruits, légumes, herbes aromatiques	806	0 [0,0-0,4]

(IC) : Intervalle de confiance

(VSM) : viande séparée mécaniquement

III.1.2 Importance de la collecte et de l'analyse d'échantillons représentatifs :

1. Importance de l'échantillonnage représentatif:

- Évaluation précise de la contamination : La présence de *Salmonella* dans les aliments est souvent hétérogène c'est-à-dire que les bactéries ne sont pas distribuées de manière uniforme dans une cargaison. Le prélèvement représentatif aide à représenter fidèlement la situation microbiologique globale du produit alimentaire, en employant des méthodes adéquates pour identifier les zones potentiellement dangereuses et déterminer précisément la fréquence et l'abondance de *Salmonella* (Podolak *et al.*, 2010).
- Gestion optimale des risques : Pour évaluer et gérer les risques, il est primordial de disposer de données précises tirées d'un échantillon représentatif. Ces dernières offrent aux producteurs et aux autorités la possibilité d'identifier les risques, d'établir des mesures de contrôle précises et d'évaluer leur efficacité (Ismail, R. *et al.*, 2013).
- Prévention des épidémies : L'identification anticipée de la *Salmonella* avant la commercialisation des produits contribue à prévenir les éclosions de toxi-infections alimentaires. Le recours à un échantillonnage représentatif améliore la chance de détecter les lots contaminés et favorise une action rapide de rappel (Ismail, R. *et al.*, 2013).
- Réglementation : L'observation de normes de sécurité alimentaire rigoureuses est obligatoire dans plusieurs pays, y compris le test des produits pour identifier la présence de *Salmonella*. Pour répondre à ces critères, il est crucial d'avoir un échantillonnage représentatif (Podolak *et al.*, 2010).
- Confiance des consommateurs : Un contrôle régulier basé sur des méthodes d'échantillonnage strictes renforce la confiance des consommateurs et améliore l'image de marque des entreprises investies dans la sécurité alimentaire (Ismail, R M *et al.*, 2013).

2. Importance d'une analyse précise :

L'analyse précise des *Salmonella spp.* Dans les échantillons alimentaires est la pierre angulaire d'un contrôle microbiologique efficace et de la gestion de la sécurité alimentaire. Une fois que des échantillons représentatifs sont prélevés, l'utilisation de méthodes analytiques fiables et sensibles - y compris des techniques de culture, des tests de détection rapide tels que la réaction en chaîne par polymérase (PCR) et le test immuno-enzymatique (ELISA), ainsi que le sérotypage - est essentielle pour la détection et l'identification précises des *Salmonella* (Hoorfaret *al.*, 2011 ; Malorny *et al.*, 2003).

En outre, la quantification des niveaux de contamination fournit des informations essentielles pour l'évaluation du risque encouru par divers groupes de consommateurs, dont la sensibilité à l'infection peut varier (Jasson *et al.*, 2010).

Les approches analytiques avancées, en particulier les techniques de sous-typage moléculaire telles que l'électrophorèse sur gel en champ pulsé (PFGE) et le séquençage du génome entier (WGS), permettent de remonter à la source de la contamination lors des enquêtes sur les épidémies et de cartographier la diffusion de souches spécifiques tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire (Jackson *et al.*, 2016).

En outre, ces analyses permettent d'évaluer les interventions en matière de sécurité alimentaire en suivant les tendances de la prévalence de *Salmonella* au fil du temps, ce qui permet d'améliorer les pratiques d'hygiène et les protocoles de transformation (Scallan *et al.*, 2011).

Les récentes innovations technologiques, notamment les biocapteurs et les outils génomiques, ont encore amélioré la sensibilité, la spécificité et la rapidité de la détection des salmonelles, renforçant ainsi les systèmes de surveillance et les mesures de santé publique (Zhang *et al.*, 2020).

III.1.3 Interprétation des résultats et l'identification des points de contrôle critique :

1. Interprétation des résultats :

L'interprétation précise de la détection de *Salmonella* dans les produits alimentaires nécessite une compréhension globale des méthodologies employées et du contexte de la matrice alimentaire. Les méthodes traditionnelles basées sur la culture restent l'étalon-or en raison de leur spécificité élevée et de leur capacité à détecter des agents pathogènes viables (Sivakumar, P. K., & Ganesan, A. R. *et al.*, 2024). Toutefois, ces méthodes prennent du temps et peuvent ne pas détecter les cellules viables mais non cultivables. Les techniques moléculaires, telles que la PCR offrent une détection rapide et sensible, capable d'identifier de faibles niveaux d'ADN de *Salmonella* dans les 24 heures

(Rodríguez-Lázaro, D *et al.*, 2021). Cependant, la PCR peut détecter l'ADN de cellules vivantes et mortes, ce qui peut entraîner une surestimation des niveaux de contamination (Sivakumar, P *et al.* ;2024).

Par conséquent, l'intégration des méthodes moléculaires à la confirmation basée sur la culture peut améliorer la fiabilité des résultats, garantissant une évaluation précise des risques et informant des interventions appropriées en matière de sécurité alimentaire (Kumar A *et al.*,2018).

2. Identification of Critical Control Points (CCPs) :

L'identification des points de contrôle critiques (CCP) pour *Salmonella spp.* est un élément essentiel des systèmes d'analyse des risques et de contrôle des points critiques (HACCP) appliqués à la production alimentaire. Les PCC sont des étapes de la transformation où des contrôles peuvent être appliqués pour prévenir, éliminer ou réduire la contamination par *Salmonella* à des niveaux acceptables. Dans la transformation de la volaille, par exemple, les étapes telles que l'échaudage, l'éviscération, la réfrigération et l'emballage sont souvent identifiées comme des CCP. Des études ont montré que des interventions telles que l'utilisation d'acide peracétique dans les cuves de refroidissement ou le traitement à la vapeur pendant la préparation des carcasses peuvent réduire de manière significative la prévalence de *Salmonella* (Kusumaningrum *et al.*, 2003). L'identification de ces CCP repose sur une analyse approfondie des dangers, des données historiques de contamination et une compréhension scientifique de l'écologie des pathogènes tout au long de la chaîne alimentaire. Une gestion efficace des PCC, comprenant une surveillance constante, une validation et des actions correctives, est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire et le respect des normes réglementaires. (Vadhanasin, S. *et al.*, 2004).

III.2 Mesures de contrôle :

III.2.1 Bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication (BPH. HACCP) :

Les Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH) et le Système d'Analyse des Risques et de Maîtrise des Points Critiques (HACCP) représentent deux piliers essentiels pour garantir la sécurité des aliments, notamment dans la prévention de la présence de *Salmonella* spp. dans les denrées alimentaires. Voici une description approfondie de chaque élément et leur utilisation dans la gestion des risques associés à *Salmonella spp.* :

1. **Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH) :**

Les BPH sont un ensemble de mesures qui visent à assurer la salubrité des aliments à toutes les étapes de leur production, de leur transformation, jusqu'à leur consommation. Ces pratiques incluent plusieurs actions essentielles, telles que :

- **L'hygiène du personnel** : Assurer que le personnel se lave correctement les mains, porte des équipements de protection (gants, blouses), et suit une formation adéquate en matière d'hygiène alimentaire.
- **La désinfection des équipements et des surfaces** : Cela inclut le nettoyage des outils de production, des machines, des plans de travail et des ustensiles utilisés dans la transformation des aliments. Une bonne désinfection permet d'éviter la contamination croisée, particulièrement pour des pathogènes comme *Salmonella spp.*
- **Le contrôle de la température** : Les aliments doivent être cuits à des températures spécifiques pour détruire les bactéries. Par exemple, la cuisson du poulet doit atteindre 74°C (165°F) pour tuer efficacement *Salmonella*. De même, la chaîne du froid doit être respectée lors du stockage des produits périssables pour empêcher la prolifération de bactéries.

En appliquant ces BPH, les risques de contamination peuvent être réduits considérablement, mais pour une sécurité optimale, ces pratiques doivent être complétées par un système de contrôle rigoureux comme le HACCP. (Organisation mondiale de la Santé *et al.*, 2006 ; National Institutes of Health. *et al.*, 2024)

2. **Le Système HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) :**

Le HACCP est une méthode préventive qui identifie et gère les risques microbiologiques, chimiques et physiques tout au long de la chaîne de production alimentaire. Il repose sur 7 principes fondamentaux qui permettent de prévenir les risques avant qu'ils ne se produisent.

- **Analyse des dangers** : Cela consiste à identifier tous les dangers potentiels à chaque étape de la production alimentaire. Par exemple, dans le cas de *Salmonella*, cela inclut l'analyse des risques de contamination dans les matières premières, le transport, la préparation et le stockage des aliments.

- **Détermination des points critiques de contrôle** : Ce sont les étapes du processus où des contrôles peuvent être effectués pour prévenir ou éliminer les dangers. Par exemple, la cuisson du poulet à une température minimale de 74°C est un point critique de contrôle pour éliminer *Salmonella*.
- **Établissement de limites critiques** : Ces limites spécifient des critères mesurables qui déterminent si un danger est maîtrisé. Pour la température, la limite critique serait que la température du produit atteigne ou dépasse 74°C.
- **Surveillance des points critiques** : Cela consiste à suivre les conditions aux points critiques pour garantir que les limites critiques sont respectées. Par exemple, on peut utiliser des thermomètres pour surveiller la température de cuisson.
- **Actions correctives** : Si une limite critique n'est pas respectée, des actions doivent être prises immédiatement pour corriger la situation, comme re-cuire un produit alimentaire ou rejeter un lot de produits qui n'a pas atteint la température requise.
- **Vérification** : Cela implique de s'assurer que les mesures de contrôle fonctionnent effectivement. Cela peut être effectué par des tests en laboratoire, des audits internes ou des vérifications par un organisme extérieur.
- **Documentation et traçabilité** : Toutes les étapes, les résultats des contrôles, et les actions prises doivent être documentés pour garantir la transparence et la conformité aux normes de sécurité alimentaire. (FAO *et al.*,2023 ; Organisation mondiale de la Santé OMS *et al.*,1997).

III.2.2 Traitements thermiques et autres méthodes de conservation des aliments :

Salmonella spp. Comptent parmi les agents pathogènes d'origine alimentaire les plus répandus et représentent un risque majeur pour la santé publique en raison de la consommation de produits alimentaires contaminés. Des méthodes de conservation efficaces sont essentielles pour contrôler la présence de *Salmonella* dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire.

Le traitement thermique reste la stratégie la plus largement employée, reposant sur des procédés thermiques tels que la pasteurisation et la stérilisation pour inactiver les cellules microbiennes. La pasteurisation, couramment appliquée au lait et aux jus, consiste à chauffer les produits à des températures comprises entre 60°C et 85°C pendant une courte durée, ce qui permet de réduire efficacement les niveaux de salmonelles sans compromettre la qualité sensorielle. Par exemple, il a été démontré que la pasteurisation à 72°C pendant 15 secondes élimine les salmonelles du lait (Jay *et al.*,2000).

Dans les produits carnés. Au-delà des traitements thermiques traditionnels, les méthodes de conservation non thermiques ont gagné en importance en raison de leur capacité à maintenir la

qualité du produit tout en assurant l'inactivation microbienne. Le traitement à haute pression (HPP), qui applique des pressions comprises entre 300 et 600 MPa, Il perturbe les membranes microbiennes et a prouvé son efficacité contre les salmonelles dans la volaille et les viandes prêtes à être consommées (Hugas *et al.*, 2002).

Une autre technique en plein essor est l'irradiation des denrées alimentaires, qui exploite des rayons ionisants pour altérer l'ADN microbien ; des quantités variantes entre 1 et 7kilogray (kGy)ont prouvé leur efficacité pour diminuer les salmonelles présentes dans les épices et les produits carnés (Farkas *et al.*,2006).

De plus, les agents de conservation comme les acides organiques et les sels peuvent freiner la prolifération des salmonelles en altérant le pH et en perturbant les processus métaboliques, notamment lorsqu'ils sont associés à une chaleur modérée (Ricke *et al.*, 2003).

L'intégration de plusieurs stratégies de conservation, connue sous le nom de « technologie des haies », est de plus en plus utilisée pour obtenir des effets synergiques dans le contrôle microbien. Par exemple, la combinaison du traitement thermique avec le HPP ou les acides organiques peut améliorer l'inactivation globale des salmonelles tout en préservant la qualité des aliments (Leistner *et al.*, 1995). Ces approches combinées représentent une voie prometteuse pour la conservation des aliments, garantissant à la fois la sécurité et l'acceptabilité par le consommateur

III.2.3 Importance de la prévention de la contamination à tous les stades de la chaîne alimentaire :

Salmonella se transmet à travers les différentes étapes de la chaîne alimentaire, de la ferme jusqu'au consommateur, ce qui nécessite la mise en œuvre de stratégies préventives intégrées pour limiter sa propagation.

1. Phase pré-récolte (à la ferme) :

Dans l'environnement agricole, les animaux porteurs de *Salmonella* comme la volaille et le bétail constituent une source majeure de contamination. La bactérie colonise l'intestin des animaux sans signes cliniques apparents, ce qui conduit à la contamination de la viande, des œufs et du lait lors de la récolte ou de la traite.

Les mesures préventives recommandées à ce stade sont :

- L'application de protocoles de biosécurité pour empêcher l'introduction et la propagation de l'infection dans les exploitations agricoles.

- L'adoption de programmes de vaccination efficaces contre les souches courantes de *Salmonella*.
- L'amélioration des pratiques d'élevage grâce à un environnement propre, une eau potable saine et une alimentation équilibrée (Abd El-Aziz *et al.*, 2023).

2. Phase de transformation et de traitement

Au cours du traitement industriel des aliments, *Salmonella* peut former des biofilms sur les surfaces des équipements, ce qui la protège des désinfectants et favorise une contamination persistante des produits. Les stratégies de prévention comprennent :

- Le nettoyage et la désinfection réguliers et rigoureux des lignes de production.
- Le développement de techniques innovantes, telles que l'utilisation d'extraits végétaux antimicrobiens, de bactériophages ou de méthodes physiques comme les ultrasons, pour réduire les biofilms résistants.
- Le contrôle de la qualité selon les systèmes HACCP (Analyse des risques et maîtrise des points critiques ; Teklemariam *et al.*, 2023)

3. Phase de distribution et de commercialisation :

La contamination peut également survenir pendant le transport, le stockage ou la mise en rayon, en raison :

- D'une manipulation inadéquate des produits alimentaires.
- D'une réfrigération insuffisante, notamment pour la viande et les produits laitiers
- Du contact entre aliments crus et aliments prêts à consommer.

Pour réduire ces risques, il est nécessaire de :

- Respecter strictement la chaîne du froid.
- Former le personnel du secteur de la vente au détail aux principes d'hygiène et de sécurité alimentaire.
- Effectuer des inspections et des contrôles réguliers des conditions de stockage et de présentation. (Ehuwa *et al.*, 2021).

4. Phase de consommation (post-récolte) :

Le consommateur représente le dernier maillon de la chaîne de prévention. Des pratiques domestiques inadéquates, telles qu'une cuisson insuffisante ou un manque d'hygiène en cuisine, peuvent entraîner des infections à *Salmonella*.

Les mesures préventives à ce niveau incluent :

- La sensibilisation à l'importance d'une cuisson complète, en particulier pour la viande et les œufs.
- L'éducation sur la prévention de la contamination croisée entre aliments crus et cuits.
- L'encouragement à l'utilisation de thermomètres de cuisine pour garantir l'atteinte de températures de cuisson sûres. (Ehuwa *et al.*, 2021).

Conclusion

Conclusion :

Le genre *Salmonella* qui fait partie de la famille des *Enterobacteriaceae*, présente des traits métaboliques significatifs qui non seulement aident à sa survie dans l'environnement du système gastro-intestinal, mais également des processus de virulence qui lui permettent d'éviter les cellules immunitaires, de proliférer et de causer des déséquilibres homéostatiques chez l'hôte. La salmonellose, une infection typique causée par *Salmonella*., se manifeste principalement sous forme d'entéocolite généralement aiguë. Cela complique le diagnostic, entraîne une sous-déclaration et met en péril les mesures de contrôle et de prévention des futurs foyers épidémiques. (Porto *et al.*, 2022).

Les méthodes traditionnelles de laboratoire pour le contrôle des *Salmonella*. dans les denrées alimentaires s'appuient surtout sur des procédés de culture normalisés, qui constituent toujours le standard international pour l'identification, la quantification et le typage sérologique des *salmonelles*. Cette approche comprend plusieurs étapes consécutives : une pré-enrichissement en milieu liquide non sélectif, un enrichissement dans des milieux sélectifs, l'isolement sur des milieux solides spécifiques, complété par des confirmations biochimiques et sérologiques. Cela garantit une haute spécificité et la fiabilité des résultats.

Un dispositif d'alerte précoce capable d'identifier correctement les infections potentielles liées aux aliments est indispensable pour stopper les épidémies. L'examen préventif et ponctuel de la présence de bactéries dans les denrées alimentaires peut éviter leur impact avant qu'elles ne se transforment en enjeux de santé publique à grande échelle. (Pashazadeh, *et al.*, 2017).

Références

Bibliographiques

Références bibliographique

- (Pashazadeh, P., Mokhtarzadeh, A., Hasanzadeh, M., Hejazi, M., Hashemi, M., & de la Guardia, M. et al . , 2017)
- Abd El-Aziz, N. K., El-Sayed, A., El-Nahas, A. F., & El-Shafei, R. A. (2023). Prevention and control of human *Salmonella enterica* infections: An implication in food safety. *Journal of Food Safety*, 43(1), e12986. <https://doi.org/10.1111/jfs.12986>
- Abdelhaoui, I., Ghaffour, M., & Nouichi, S. (2013). Contribution à l'étude de la contamination du milieu d'abattage au niveau de l'abattoir d'El-Harrach par les salmonella spp (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire).
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). (2012). Surveillance des salmonelles isolées de la chaîne alimentaire en France. *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation*, 50, Article 10. <https://be.anses.fr/sites/default/files/BEP-mg-BE50-art10.pdf>
- Agregán, R., Munekata, P. E., Zhang, W., Zhang, J., Pérez-Santaescolástica, C., & Lorenzo, J. M. (2021). High-pressure processing in inactivation of *Salmonella* spp. in food products. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.025>
- Ait Alioua, S., Mameri, N., & Nouichi, S. (2013). Contribution à la recherche des salmonelles chez les bovins présentés à l'abattage (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire).
- Almeida, I. A. Z. C. D., Peresi, J. T. M., Alves, E. C., Marques, D. F., Teixeira, I. S. D. C., Silva, S. I. D. L. E., ... & Fernandes, S. A. (2015). *Salmonella* Alachua: causative agent of a foodborne disease outbreak. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 19(3), 233-238.
- Alves, J., Niguma, N. H., & de Oliveira, T. C. R. M. (2015). Detection of *Salmonella* spp. in eight complex food matrices using polymerase chain reaction assay. *Journal of Food Safety*, 35(4), 453–457. <https://doi.org/10.1111/jfs.12194>
- Ayele, M., DeLong, S. M., Lo Fo Wong, D. M. A., Wagenaar, J. A., Karlsmose, S., Maxwell, N., Knope, K., & Chiller, T. (2011). WHO Global Foodborne Infections Network (GFN): Over 10 years of strengthening national capacities to detect and control foodborne and other enteric infections globally. <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/6324847/prod21323854271183.GFN.pdf>
- BENZEID, N., & AZZAG, N. (2024). Étude comparative de la flore commensale digestive et mammaire chez les carnivores domestiques sains et ceux atteints de tumeurs mammaires (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire (ENSV) Alger).

- Bianchi, D. M., et al. (2023). Food safety monitoring of *Salmonella* spp. in Northern Italy 2019–2021. *Pathogens*, 12(7), 963. <https://doi.org/10.3390/pathogens12070963>
- Boudraa, T., et al. (2020). Implementation of food safety management systems in Algeria. *International Journal of Food Safety*, 10(3), 182-190. Agrifood Science.
- Boudrahem, M., et al. (2021). Prevalence and antimicrobial resistance of *Salmonella* in meat products in Algiers. *Journal of Food Safety*, 40(2), 225-235. PubMed.
- Carrasco, E., Morales-Rueda, A., & García-Gimeno, R. M. (2012). Cross-contamination and recontamination by *Salmonella* in foods: A review. *Food Research International*, 45(2), 545-556.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Clinical Overview of Salmonellosis. Retrieved from <https://www.cdc.gov/salmonella/hcp/clinical-overview/index.html>
- centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Clinical Overview of Salmonellosis*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/salmonella/hcp/clinical-overview/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Clinical Overview of Salmonellosis*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/salmonella/hcp/clinical-overview/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Treatment of Salmonella Infection*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/salmonella/treatment/index.html>
- Doughton, T. V., LEGBA, B., DEGUENON, E., HOUNMANOU, G., AGBANKPE, J., AMADOU, A., ... & DOUGNON, T. J. (2017). Pathogenicity, epidemiology and virulence factors of *Salmonella* species: A review. *Notulae Scientia Biologicae*, 9(4), 460-466.
- Durand, J. (2009). Evaluation de la prévalence de *Salmonella* spp. dans les élevages de porcs à la Réunion. Impact de l'infection de l'élevage sur la contamination des carcasses après le processus d'abattage (Doctoral dissertation, UM2).
- Ehuwa, O., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2021). *Salmonella*, food safety and food handling practices. *Foods*, 10(5), 907. <https://doi.org/10.3390/foods10050907>
- Eid, H. M., Algammal, A. M., Elfeil, W. K., Youssef, F. M., Harb, S. M., & Abd-Allah, E. M. (2019). Prevalence, molecular typing, and antimicrobial resistance of bacterial pathogens isolated from ducks. *Veterinary World*, 12(5), 677.
- Elmi, S. A., Goni, M. D., Mohamed, M. A., Said, A. S., & Khan, M. A. (2021). The Epidemiology and Antimicrobial Resistance of *Salmonella*: A Review. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*
- European Food Safety Authority (EFSA). (2021). The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents, and Foodborne Outbreaks in 2021. EFSA.
- Fablet, C., Robinault, C., Jolly, J. P., Collet, M., Chemaly, M., Labbe, A., ... & Fravallo, P. (2006). *Salmonella enterica* level in French pig farms effluents: Experimental and field data. *Livestock Science*, 102(3), 216-225.

- FAO. (2023). Détermination des points critiques de contrôle – Étape 7, Principe 2. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://openknowledge.fao.org/items/e9327398-0f85-493f-8ad0-a59eb5b8fd75>
 - FAO. (2023). Présentation du système HACCP. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/good-hygiene-practices-haccp-toolbox/haccp/introduction-to-haccp/fr>
 - Farkas, J. (2006). Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.003>
 - Food and Agriculture Organization. (2019). Food safety and quality: Good hygiene practices and HACCP. *FAO Food Safety Manual*. <https://www.fao.org/food-safety>
 - GARRY, V. Z. E. P. 2004 Les germes pathogènes dans l'industrie agroalimentaire.
 - Gomez, J. (2004). Etude de la prévalence de *Salmonella* sur les carcasses de poulet de chair vendues à Antananarivo (Doctoral dissertation, UM2).
 - Gordon, M. A. (2023). *Salmonella* Bloodstream Infections. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 8(11), 487. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed8110487>
 - Günel, E. (2014). *Salmonella* surveillance on fresh produce and inactivation by high hydrostatic pressure (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).
 - Hansen-Wester, I., & Hensel, M. (2001). *Salmonella* pathogenicity islands encoding type III secretion systems. *Microbes and Infection*, 3(7), 549–559. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(01\)01411-3](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(01)01411-3)
 - Hensel, M. (2000). *Salmonella* pathogenicity island 2. *Molecular microbiology*, 36(5), 1015–1023 <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2000.01935>.
 - Hoorfar, J., Baggesen, D. L., & Portillo, F. G. (2011). Detection and control of *Salmonella* in food production systems. *Food Research International*, 45(2), 789–807. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.046>
- <https://doi.org/10.1128/CMR.14.3.453-473.2001>
- <https://www.cdc.gov/salmonella/index.html>
- Hugas, M., Garriga, M., & Monfort, J. M. (2002). New mild technologies in meat processing: High pressure as a model technology. *Meat Science*, 62(3), 359–371. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00122-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00122-5)
 - Hurley, D., McCusker, M. P., Fanning, S., & Martins, M. (2014). *Salmonella*–host interactions–modulation of the host innate immune system. *Frontiers in Immunology*, 5, 481. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00481>
 - Ismaïl, R., Aviat, F., Michel, V., & Federighi, M. (2013). Methods for recovering microorganisms from solid surfaces used in the food industry: A review of the literature.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 10(11), 6169–6183.
<https://doi.org/10.3390/ijerph10116169>

- Jackson, B. R., Tarr, C., Strain, E., Jackson, K. A., Conrad, A., Carleton, H., ... & Stroika, S. (2016). Implementation of nationwide real-time whole-genome sequencing to enhance listeriosis outbreak detection and investigation. *Clinical Infectious Diseases*, 63(3), 380–386. <https://doi.org/10.1093/cid/ciw242>
- Jasson, V., Jacxsens, L., Luning, P., Rajkovic, A., & Uyttendaele, M. (2010). Alternative microbial methods: An overview and selection criteria. *Food Microbiology*, 27(6), 710–730. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.04.008>
- Jay, J. M. (2000). *Modern food microbiology* (6th ed.). Gaithersburg, MD: Aspen Publishers.
- Kombade, S., & Kaur, N. (2021). Pathogenicity Island in Salmonella. IntechOpen <https://doi.org/10.5772/intechopen.96443>
- Le Minor, L., & Popoff, M.Y. (1987). *International Journal of Systematic Bacteriology*.
- Leistner, L., & Gorris, L. G. M. (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science & Technology*, 6(2), 41–46. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)88941-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)88941-4)
- MacFaddin, J.F. (2000). *Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria*.
- Maciorowski, K. G., Jones, F. T., Pillai, S. D., & Ricke, S. C. (2004). Incidence, sources, and control of food-borne Salmonella spp. in poultry feeds. *World's Poultry Science Journal*, 60(4), 446–457.
- Malorny, B., Tassios, P. T., Rådström, P., Cook, N., Wagner, M., & Hoorfar, J. (2003). Standardization of diagnostic PCR for the detection of foodborne pathogens. *International Journal of Food Microbiology*, 83(1), 39–48.
- Mayo Clinic. (2024). *Salmonella infection - Symptoms & causes*. Retrieved from <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/salmonella/symptoms-causes/syc-20355329>
- Miold-Mei, S. (2001). Anpassung von Salmonella spp. an neue Wirte durch horizontalen Transfer translozierter Effektorproteine (Doctoral dissertation, lmu)
- Moreau, J. P., & Rakotomalala, G. N. (1974). Problèmes d'identification des bactéries entéropathogènes isolées sur milieu SS. *Archives de l'Institut Pasteur de Madagascar*.
- NAIMI, M. Cahier technique-2: Techniques de contrôle microbiologiques
- National Institutes of Health. (2024, December). Preventing food poisoning. *NIH News in Health*. <https://newsinhealth.nih.gov/2024/12/preventing-food-poisoning>
- Noël, H., Dominguez, M., Weill, F. X., Brisabois, A., Duchazeaubeinex, C., Kerouanton, A., ... & Couturier, E. (2007). *pidémiologique*

- Organisation mondiale de la Santé (OMS). (1997). HACCP : Introduction au système d'analyse des dangers et points critiques pour leur maîtrise. Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63610>
- Organisation mondiale de la Santé. (2006). Cinq clefs pour des aliments plus sûrs : manuel. Genève : OMS. <https://iris.who.int/handle/10665/43614>
- Pang, X., Hu, X., Du, X., Lv, C., &Yuk, H.-G. (2023). Biofilm formation in food processing plants and novel control strategies to combat resistant biofilms: The case of *Salmonella* spp. *Food Science and Biotechnology*, 32(12), 1703–1718. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01349-3>
- Podolak, R., Enache, E., Stone, W., Black, D. G., & Elliott, P. H. (2010). Sources and risk factors for contamination, survival, persistence, and heat resistance of *Salmonella* in low-moisture foods. *Frontiers in Microbiology*, 1, 1-16. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2952982/>
- Porto, Y. D., Fogaca, F. H. D. S., Andrade, A. O., da Silva, L. K. S., Lima, J. P., da Silva, J. L., ... & Tassinari, W. D. S. et al. , (2022).
- Rahman, M. A., Ahmad, T., Mahmud, S., Barman, N. C., Haque, M. S., Uddin, M. E., & Ahmed, R. (2019). Isolation, identification and antibiotic sensitivity pattern of *Salmonella* spp. from locally isolated egg samples. *Am. J. Pure Appl. Sci*, 1(1), 1-11.
- Ricke, S. C. (2003). Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poultry Science*, 82(4), 632–639. <https://doi.org/10.1093/ps/82.4.632>
- Rodríguez-Lázaro, D., & Hernández, M. (2021). Next-Day *Salmonella* spp. Detection Method Based on Real-Time PCR for Foods. *Methods in Molecular Biology*, 2182, 1–6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32894481/>
- Rosselin, M., Virlogeux-Payant, I., Roy, C., Bottreau, E., Sizaret, P. Y., Mijouin, L., ... & Wiedemann, A. (2021). The Invasin and Complement-Resistance Protein Rck of *Salmonella* is More Widely Distributed than Previously Expected. *Microorganisms*, 9(9), 1913. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091913>
- Sánchez-Vargas, F. M., Abu-El-Haija, M. A., & Gómez-Duarte, O. G. (2011). *Salmonella* infections: an update on epidemiology, management, and prevention. *Travel medicine and infectious disease*, 9(6), 263-277.
- Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M. A., Roy, S. L., ... & Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 17(1), 7–15.

- Shi, C., Singh, P., Ranieri, M. L., Wiedmann, M., & Moreno Switt, A. I. (2015). Molecular methods for serovar determination of *Salmonella*. *Critical reviews in microbiology*, 41(3), 309-325.
- Silue, N. (2005). Thermorésistance de trois serotypes de *Salmonella* dans l'oeuf et les gésiers de poulets. Université Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, Afrique.
- Sivachandran, V., Wahab, N., Dubey, V., Richardson, D., & Llewellyn, C. (2024). Demographic, behavioural, and biological factors seen in men who have sex with men with *Salmonella* spp.: a systematic review. *Venereology*, 3(4), 162-171.
- Sivakumar, P. K., & Ganesan, A. R. (2024). A comprehensive review on the current status of culture media for the isolation of *Salmonella* spp. and *Shigella* spp. from food. *Discover Food*, 4(1), Article 205. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43994-024-00205-2>
- Stévenin, V., Chang, Y. Y., Le Toquin, Y., Duchateau, M., GiaiGianetto, Q., Luk, C. H., ... & Enninga, J. (2017). A second wave of *Salmonella* T3SS1 activity prolongs the lifespan of infected epithelial cells. *PLoS Pathogens*, 13(8), e1006354. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006354>
- Teklemariam, A. D., Al-Hindi, R. R., Albiheyri, R. S., Alharbi, M. G., Alghamdi, M. A., Filimban, A. A. R., ... & Bhunia, A. K. (2023). Human salmonellosis: A continuous global threat in the farm-to-fork food safety continuum. *Foods*, 12(9), 1756. <https://doi.org/10.3390/foods12091756>
- USDA Food Safety and Inspection Service (FSIS). (2022). Safe minimum internal temperature chart. <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/safe-minimum-internal>
- Vadhanasin, S., Bangtrakulnonth, A., & Chidkrau, T. (2004). Critical control points for monitoring *salmonellae* reduction in Thai commercial frozen broiler processing. *Journal of Food Protection*, 67(7), 1480–1483. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15270505/>
- Verywell Health. (2024). *Typhoid: Everything You Need to Know About This Infectious Disease*. Retrieved from <https://www.verywellhealth.com/typhoid-8651313>
- World Health Organization. (2018). *Salmonella (non-typhoidal)*. Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))
- Yamina, M. E. R. Z. O. U. K. (2022). Technique de Contrôle Microbiologique.
- Zhang, G., Brown, E. W., & González-Escalona, N. (2020). Comparison of molecular subtyping methods for the detection of *Salmonella* outbreaks. *Frontiers in Microbiology*, 11, 255. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00255>

ملخص

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة وتقييم التقنيات الميكروبيولوجية الكلاسيكية المعتمدة في الكشف عن بكتيريا سالمونيلا في المنتجات الغذائية، وذلك في إطار تعزيز سلامة الأغذية وحماية الصحة العامة. نظراً لكون سالمونيلا من أهم مسببات الأمراض المنقولة عبر الغذاء، تم التركيز على منهجيات العزل والتحديد الكمي والنوعي لهذه البكتيريا باستخدام طرق تقليدية مجربة في بيئات مختبرية. وقد مكنت التحاليل من الكشف عن وجود سالمونيلا في بعض العينات الغذائية، مما يبرز الحاجة إلى تطبيق نظام مراقبة صارم خلال مختلف مراحل السلسلة الغذائية. وتؤكد نتائج هذه الدراسة على أهمية هذه التقنيات بالنسبة لمهنيي قطاع الصناعات الغذائية، ومختبرات مراقبة الجودة، والهيئات الصحية، حيث توفر معطيات أساسية تسهم في الوقاية من التسممات

الغذائية البكتيرية والحد من انتشارها. وتشدد الأطروحة على ضرورة دمج هذه الطرق التقليدية مع ممارسات رقابية حديثة لضمان سلامة المنتجات الموجهة للمستهلك.

Abstract

This thesis aims to study and evaluate classical microbiological techniques used for the detection of *Salmonella* in food products, with the objective of enhancing food safety and protecting public health. Given that *Salmonella* is one of the most common foodborne pathogens, the research focused on the isolation and both qualitative and quantitative identification of the bacteria using well-established laboratory methods. The analyses confirmed the presence of *Salmonella* in certain food samples, highlighting the critical need for strict quality control throughout the food chain. The findings underscore the relevance of these techniques for professionals in the agri-food industry, quality control laboratories, and health authorities, providing essential data to support the prevention and management of bacterial foodborne illnesses. The thesis also recommends integrating traditional methods with modern monitoring strategies to ensure the safety of consumer food products.

Résumé

Cette thèse vise à étudier et évaluer les techniques microbiologiques classiques utilisées pour la détection de *Salmonella* dans les produits alimentaires, dans le but de renforcer la sécurité sanitaire des aliments et de protéger la santé publique. Étant donné que *Salmonella* est l'un des agents pathogènes les plus fréquents transmis par l'alimentation, l'accent a été mis sur les méthodes d'isolement, d'identification qualitative et quantitative de cette bactérie à l'aide de protocoles traditionnels éprouvés en laboratoire. Les analyses ont révélé la présence de *Salmonella* dans certaines denrées, soulignant ainsi la nécessité d'un contrôle rigoureux à chaque étape de la chaîne alimentaire. Les résultats de cette étude mettent en évidence l'importance de ces techniques pour les professionnels de l'agroalimentaire, les laboratoires de contrôle de qualité et les autorités sanitaires. Ils fournissent des données essentielles pour prévenir les toxi-infections alimentaires bactériennes et limiter leur propagation. La thèse recommande également l'intégration de ces méthodes traditionnelles avec des approches de contrôle modernes afin de garantir la sécurité des produits destinés au consommateur.