

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: GUELIL Leyla & KHALDOUNE Hadjer

Intitulé

**Etude bibliographique des mécanismes
d'adaptation aux différents stress
environnementaux d'une bactérie pathogène alimentaire**

Soutenu devant le jury composé de :

ARIECH Mounira	MCA	Université de M'sila	Président
BENSAMENE Latifa	MCB	Université de M'sila	Rapporteur
BENESLAMA Abderrahim	MCB	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

DEDICACE

A mes très chers parents, pour leur : amour et soutien depuis mon enfance .A mon cher fiancé SAMIR pour m'encourager et son soutien absolu jusqu'à ce jour.

A toute ma famille et mes amis. A tous mes honorables enseignants qui nous ont très bien assisté, éclairé et guidé sur notre parcours. Je dédie ce modeste travail

Hadjer

DEDICACE

A l'aide de DIEU le tout puissant, qui a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que

je dédie:

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études .Que DIEU leur procure la bonne santé et longue vie.

A Mes chers frères pour leurs appuis et leurs encouragements et leur soutien moral

A Toute la famille GUELIL et DILMI.

A tous mes amis, pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

LEYLA

REMERCIEMENTS

Nous tenions à remercier :

***DIEU** le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et la force pour mener ce travail à terme.*

Nous remercions infiniment toutes les personnes qui nous ont aidé, avec tout leur savoir et leur qualité hautement qualifiés et qui n'ont pas lâché toute l'aide jusqu'à la fin de notre travail.

*Nous remercions sincèrement de tout cœur notre Encadreur Mme: **BENSAMENE Latifa** pour avoir accepté de diriger ce travail, de nous avoir permis de bénéficier de son expérience, et de sa patience. Elle s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer.*

Nous remercions tous ceux qui vont lire ce mémoire, à commencer par les membres de jury qui ont accepté sans hésitation d'évaluer et de critiquer ce travail :

Dr: BENESLAMA Abderrhim

Dr: ARIECH Mounira

Sommaire

ملخص.....	i
Abstract	i
Résumé.....	i
Liste des abréviations	i
Liste des figures	i
Listes des tableaux	i
Introduction	1

Chapitre I: Les microorganismes dans l'alimentation

I.1 Généralité.....	4
I.2 Externe	4
I. 2.1. Le milieu	4
I.2.2. Matériels et instruments.....	5
I.3. Interne	5
I.3.1. Facteurs intrinsèques et extrinsèques des aliments qui affectent la croissance microbienne.....	7
I.3.1.1. Facteurs intrinsèques.....	8

Chapitre II: Les bactéries pathogènes des aliments

II.1. Les microorganismes les plus fréquemment observés dans les aliments	15
II.1.1 Les microorganismes utiles	15
II.1.2. Bactéries responsables de maladies d'origine alimentaire	15
II.2. La qualité hygiénique	15
II.3. Bactéries responsables de maladies d'origine alimentaire	16
II.3.1 Définition des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC)	16
II.4. Epidémiologie des TIAC dans le monde.....	17
II.5. Mécanismes d'action des microorganismes incriminés dans les TIAC.....	18
II.5.1. <i>Salmonella</i>	18

II.5.2. <i>Campylobacter</i>	20
II.5.3. <i>Escherichia coli</i>	23

Chapitre III: Mécanismes d’adaptation des bactéries pathogènes aux différents stress environnementaux

III.1. Définition.....	27
III.2. Réponses aux stress.....	27
III.2.1. Fuir le stress (bactéries possédant un ou des flagelles).....	28
III.2.2. Produire des facteurs de virulence tels que des toxines	29
III.2.3. Former des spores de résistances	29
III.2.4. Formation de biofilm.....	29
III.2.5. Éliminer le stress (dégradation des molécules toxiques tels que les antibiotiques)	30
III.2.5. Tolérer le ou les stress : réparation des dommages intracellulaire et adaptation physiologique et moléculaire	30
III.3. Les mécanismes de résistances des bactéries étudiées.....	31
III.3.1. <i>Salmonella</i> :	31
III.3.2. <i>Escherichia coli</i>	31
III.3.3. <i>Campylobacter</i>	32
Conclusion et perspectives	34

Références bibliographiques

ملخص

تعتبر البكتيريا الممرضة من بين الكائنات الحية الدقيقة التي تمثل العامل الرئيسي في انتشار العديد من الأمراض الخطيرة التي تهدد صحة الإنسان. و تتواجد في الوسط الخارجي كالتربة و الماء والنباتات والحيوانات التي يؤدي الاتصال بها مع الإنسان إلى احتمال الإصابة بالعدوى، وتعتبر الأيدي العامل الأساسي للعدوى وكذلك الأدوات الصناعية. أو الوسط الداخلي نتيجة تناول أغذية تحتوي على بكتيريا ملوثة، حيث إذا تجاوز عدد البكتيريا الشحنة العادية البالغة 10^4 /غرام هنا، تصبح ضارة، ويجب علينا معالجته.

للبكتيريا عوامل طبيعية خاصة للعيش فيها، كدرجة الحرارة التي تختلف من بكتيريا إلى أخرى، ونسبة معينة من الرطوبة ودرجة الحموضة، بالإضافة إلى عوامل غذائية لتكون قادرة على التكاثر والبقاء على قيد الحياة.

وفقاً للإحصائيات السنوية لمنظمة الصحة العالمية، فإن السالمونيلا والإشريشيا القولونية والعطيفة هي الأكثر شيوعاً في البلدان المتقدمة والعالم الثالث.

نظراً للعديد من الأسباب مثل تغيير نمط الحياة والاتجاه إلى استهلاك الوجبات السريعة، وارتفاع استهلاك اللحوم بكثرة، أيضاً نقص في التحسيس حول كيفية الحفاظ على الأغذية. تسبب هذه البكتيريا مجموعة متنوعة من الأعراض الخطيرة على الإنسان، مثل الإسهال الحاد والحمى والغثيان... يمكن أن تؤدي أحياناً إلى الوفاة.

على الرغم من المحاولات العديدة للقضاء على البكتيريا الضارة، إلا أن لديها آليات بنوية و جينية خاصة تسمح لها بالمقاومة على الضغوطات البيئية المختلفة التي تتعرض لها.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا الممرضة؛ الكائنات الحية الدقيقة؛ عوامل خاصة؛ صحة الإنسان؛ استهلاك؛ الأغذية؛ آليات؛ الضغوطات البيئية

Abstract

Pathogenic bacteria are among the microorganisms that are the main factor in the spread of many serious diseases that threaten human health. Water, plants, animals, when, direct contact with humans lead to the possibility of infection, and hands are the main factors of infection as well as industrial instruments. Or the indoor environment of consumption of food containing contaminated bacteria, where if the number of bacteria exceeds the normal load of $10^4/g$ Here, it becomes harmful, and we must tackle it.

Bacteria have special factors in which to live, temperature, , that are varies from one bacterium to another, a certain percentage of humidity and pH, as well as nutritional factors to be able to reproduce and survive.

According to the annual statistics of the World Health Organization, salmonella, Escherichia coli and Campylobacter are the most common in developed and third world countries. Due to many reasons such as life style change and the trend to fast food consumption High meat consumption is also a lack of sensitivity on how to preserve food. These bacteria cause a variety of risk symptoms for humans, such as acute diarrhea, fever, nausea...They can sometimes lead to death.

Despite numerous attempts to eliminate harmful bacteria, they have special structural and genetic mechanisms that allow them to cope with the various environmental pressures to which they are exposed.

Keywords : Pathogenic bacteria ,microorganisms, diseases, factores special, human health , food ,consumption, mechanisms ,various environmental.

Résumé

Les bactéries pathogènes sont parmi les micro-organismes qui sont le principal facteur de propagation de nombreuses maladies graves qui menacent la santé humaine. L'eau, les plantes, les animaux, au contact direct avec les humains, conduisent à la possibilité d'infection et les mains sont les principaux facteurs d'infection ainsi que les instruments industriels. La consommation d'un aliment contaminé, ou le nombre de bactéries dépasse la charge normale de $10^4/g$ à ce moment là, il devient nocif, et il faut le traiter.

Les bactéries possèdent des facteurs spéciaux qui leur permettent de se développer et de croître tels que: la température, qui varie d'une bactérie à l'autre, une humidité et un pH optimum, ainsi que des éléments nutritifs.

Selon les statistiques annuelles de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), *Salmonelles*, *Escherichia coli* et *Campylobacter* sont les bactéries pathogènes alimentaires les plus répandues dans les pays développés et du tiers monde. A cause de nombreuses raisons telles que le changement de style de vie, la tendance à la consommation des repas préparés, une consommation élevée de viande et également un manque de sensibilité sur la façon de conserver les aliments. Ces bactéries causent divers symptômes de risque pour les humains, comme la diarrhée aiguë, la fièvre, les nausées, etc... peuvent parfois mener à la mort.

Malgré de nombreuses tentatives pour éliminer les bactéries nuisibles, ils possèdent des mécanismes structurels et génétiques particuliers qui leur permettent de faire face aux diverses pressions environnementales auxquelles elles sont exposées.

Mots clés : Les bactéries pathogènes ,microorganismes, maladies ,facteurs spécieux , La santé humaine ,les aliments ,consommation, mécanismes ,pression environnemetales.

Liste des abréviations

AgH: Antigène flagellaire

AgO : Antigène somatique

AgVi: Antigène de virulence

Aw : Activité de l'eau

CDT :Cytolethal distending toxin

ECEH : *Escherichia coli* entérohémorragiques

EFSA : Agence Européenne de sécurité des Alimentaire

ExPEC: *Escherichia coli* pathogène extra-intestinal;(Extra intestinal pathogenic *Escherichia coli*)

FAO : Food and Agriculture Organisation of the United Nation ; Organisation des Nations Unies pour alimentation et l'agriculture

HR : Humidité relative

InPEC: *Escherichia coli* pathogène intra-intestinal(intra- intestinal pathogenic *Escherichia coli*)

LOS: Lipooligosaccharide

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PH : Potentiel Hydrogène

RH: Recombinaison homologue

SNPs: single nucleotide polymorphism

STES: *Escherichia coli* producteur de shiga -toxin

TIA : Toxi-infections alimentaires

TIAC : Toxi-infections alimentaires collectives

TLS: Synthèse Translesionnelle

Liste des figures

Figure 1 : Plages approximatives de croissance du pH pour certains organismes d'origine alimentaire. Les plages de pH de <i>L. monocytogenes</i> et de <i>S. aureus</i> sont similaires.....	8
Figure 2: Vitesse de détérioration des aliments en fonction de l'activité de l'eau	9
Figure 3. Bactérie <i>Salmonella</i>	19
Figure 4: Bactérie de <i>Compylobacter</i>	21
Figure 5: Bactérie <i>Escherichia coli</i>	24
Figure 6: principales infections dues aux souches pathogènes d' <i>Escherichia coli</i>	25
Figure 7: Les différents mécanismes de résistance aux les bactéries alimentaire pathogènes ...	32
Figure 9. Mécanismes d'invasion des cellules non phago-cyaires par campylobacteri.....	33

Listes des tableaux

Tableau 1: Différentes origines des microorganismes dans les aliments.....	6
---	---

Introduction

Introduction

On trouve les micro-organismes partout dans notre environnement naturel (air, alimentation, surfaces des objets...). Certains sont nécessaires et ne présentent aucun risque pour les consommateurs, c'est le cas de quelques bactéries, levures, moisissures mais d'autres, particulièrement les bactéries, sont une source de contamination de nombreux produits alimentaires donc elles sont dangereuses d'un point de vue sanitaire.

Les aliments sont des milieux favorables à la prolifération de plusieurs bactéries dangereuses pour la santé humaine. Les maladies d'origine alimentaire (intoxications ou infections) sont contractées à la suite de la consommation d'aliments ou de l'eau infectés par des agents pathogènes tels que des bactéries, virus, parasites ou prions.(**Madigan M, Martinko,2007**)

Ces microorganismes pathogènes forment une menace croissante de santé publique à travers le monde, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement. Fièvre, frissons, maux de tête, crampes abdominales, diarrhées accompagnées parfois de sang, nausées, vomissements, fatigue, faiblesses et étourdissements, perte d'appétit, perte de poids, ballonnements, gaz, jaunisse, douleurs musculaires, etc... sont les symptômes de contamination alimentaire.

Buisson et Teyssou, 2002; OMS, 2002, suggèrent que les contaminations alimentaires peuvent causer, la morbidité ou la mortalité, sans oublier la perte de confiance du consommateur, de pertes économiques et surtout le coût accru en matière de soins de santé et de perte de productivités industrielles.

Donc, il est important de surveiller la qualité microbiologique d'un aliment qui est un test expliquant l'acceptabilité d'un produit, d'un lot d'aliments ou d'un procédé en se basant sur l'absence, la présence ou le nombre de microorganismes et/ou la quantité de leurs toxines/métabolites, par unité de masse, volume, surface ou lot (**Afssa, 2008**).

La consommation d'aliments contaminés par certaines bactéries, virus, parasites, ou leurs toxines, cause des maladies appelées toxi-infections alimentaires (TIA). Ces microorganismes pathogènes, du fait de leur capacité à se disséminer ou à proliférer dans les aliments, représentent un problème en santé publique pour notre société (**DGSAIA et MAPAQ ,2012**).

Les contaminations alimentaires sont en constante augmentation à travers le monde. Chaque année, 1 à 2 milliards de personnes sont infectées par des bactéries, et 70% de ces infections sont d'origine alimentaire (**Allos et al.,2004**).

Selon l'OMS 2018, plus de 420.0000 morts par an dans le monde, dus aux infections gastro-intestinales causées par les bactéries, les virus et les parasites présents dans les aliments (**OMS 2018**). Les trois micro-organismes principalement en cause sont successivement : *Salmonella spp.* (**Haghebert et al. 2000**) (*Enteritidis* et *Typhimurium*), *Staphylococcus aureus* et *Clostridium perfringens*. En outre, *Escherichia coli* 0157:H7, *Campylobacter* et *Shigella* peuvent être la cause d'épidémies. Les TIAC survenant en milieu familial sont le plus souvent dues à *S.enterica enteritidis* et génèrent relativement peu de malades. En milieu scolaire, elles sont dues principalement à *C. perfringens* et *S. aureus* et touchent un nombre de personnes beaucoup plus important (**Djossou 2010**).

L'Algérie, et selon le Ministère de la Santé, a enregistré plus de 10000 cas d'intoxication alimentaire en 2017 au niveau national, 40% des cas surviennent durant les fêtes et 60% au niveau des restaurants collectifs, particulièrement les écoles et les universités. Les chiffres rendus publics «ne reflètent pas la réalité», pour la seule raison, qu'il s'agit de cas déclarés par les différents services sanitaires (**Journal Le Jour D'Algérie 2018**). La restauration collective est la plus incriminée avec 60% (**Madhkour I, 2013**). Les intoxications alimentaires ont tendance à se généraliser pendant la période estivale et de grandes chaleurs, par l'eau, la nourriture des fast-foods et les repas de fêtes.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), dans les pays industrialisés, une personne sur trois est victime d'une maladie d'origine alimentaire chaque année. Aux États-Unis d'Amérique, les infections alimentaires causent 76 millions de maladies, 325 000 hospitalisations et 5 000 morts annuellement.(**Mead et al.,1999**) . Au Canada, les experts de la santé publique estiment à plus de 40% de la population Canadienne souffrant, chaque année, de maladies d'origine alimentaire.

En cas d'infection, les micro-organismes vivants présents dans l'aliment provoquent des effets pathologiques variés par leur multiplication dans les entérocytes de l'intestin grêle et du colon.

On parle de toxi-infection lorsque l'infection est suivie de la production des toxines protéiques ou glucido-lipido-protéiques. Les germes responsables des toxi-infections sont :

Salmonella sp, Clostridium perfringens, shigella sp, Vibrio parahaemolyticus, Bacillus cereus, Yersinia enterocolytica, Campylobacter sp, Listeria monocytogenes.

Dans les collectivités, on parle de toxi-infection alimentaire collective (TIAC) par exemple: le germe *Escherichia coli* cause l'apparition d'au moins deux cas de symptômes similaires au même moment et le plus souvent digestifs chez des individus ayant consommé le même repas (**Diallo, 2010**).

Les déficiences qualifiées de « très graves » se rapportaient aux facteurs suivants, en ordre croissant d'importance : les enregistrements et l'eau chaude disponible dans l'établissement, l'origine des produits et l'étiquetage, l'état de santé des manipulateurs d'aliments, la propreté du matériel, les animaux, l'environnement, le système de refroidissement, l'état ou la nature du matériel, le lavage des mains, l'innocuité des produits, la survie d'agents pathogènes, , l'introduction d'agents pathogènes et la température des aliments (**Journal Le Jour D'Algérie 2018 ; Haghebert et al. 2000**)

Pour mieux prévenir et réduire le risque de croissance du pathogène dans les aliments, il est essentiel de bien comprendre les mécanismes qu'il utilise pour survivre et se développer dans des environnements difficiles ou sur des matrices spécifiques. Car, la bactérie psychotrophe parvient à s'adapter dans des environnements où elle est soumise à différents stress

En raison de l'abondance des bactéries pathogènes alimentaires, on va s'intéresser aux trois principales et les plus courantes dans le monde, qui sont *Escherichia coli*, *Campylobacter* et *Salmonella*, pour réaliser notre étude bibliographique.

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Les microorganismes dans l'alimentation

I.1 Généralité

Les légumes, les fruits, la viande, les produits laitiers, le poisson, etc... sont les nombreux produits alimentaires que nous consommons, ne sont pas stériles. Ils peuvent être le siège de prolifération microbienne et représentent un risque sérieux pour la santé du consommateur. Cette prolifération est d'autant plus variée que le produit est "riche" en éléments nutritifs et placé dans des conditions favorables à la croissance microbienne. Donc la surveillance des agents pathogènes tout au long de la chaîne de production est donc cruciale pour assurer la protection du consommateur.

Ces proliférations peuvent être d'origine :

I.2 Externe

Les aliments sont contaminés par des microorganismes qui provenaient de milieux naturels (l'air, l'eau ou le sol), ou bien par des microorganismes provenant d'un contact avec le consommateur. Les aliments peuvent également avoir été contaminés après avoir été utilisés en cuisine ou en usine. Exemple le lait, stérile dans la mamelle de l'animal (sain). Une fois la traite effectuée, une analyse biologique montre la présence de divers microorganismes, essentiellement des bactéries ou des champignons.

I. 2.1. Le milieu

- **le sol** : apporte presque tous des microbes, en quantité très importante : on estime que la masse de bactéries représente 10 t/ha telles que : *Achromabacter*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Sarcina*, *Streptomyces*, etc..; celle des moisissures, 1 t/ha comme *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Trichothecium*, *Bothrytis*, *Fusarium* etc.... Seules les levures sont en très faible quantité dans le sol: *Saccharomyces*, *Rhodotorula*, *Torula* etc...
- **L'eau** : naturelle, non traitée, de source ou de rivière, apporte également de très nombreux germes, qui proviennent souvent du sol. Mais, on peut aussi trouver des germes de pollution, issus des ruissellements : entérobactéries (issues des fèces des animaux), *Clostridium*, dont certains germes pathogènes comme *Salmonella Typhi*.
- **Les plantes** : avec des flores spécifiques : bactéries : *Acetobacter*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Paracolobactrum*, etc.

moisissures : genres responsables de dégradations des fruits et végétaux levures :
Saccharomyces, Rhodotorula, Torula, etc...

- **Animaux et produits dérivés** : Le tractus intestinal de l'homme ou des animaux contient jusqu'à 10^{11} germes par g (gros intestin) : Parmi les bactéries les plus fréquentes : *Bifidobacterium (Lactobacillus bifidus), Bacteroides, Escherichia coli, Proteus, Salmonella, Shigella, Staphylococcus, Streptococcus, Clostridium, Paracolobactrum, Pseudomonas*. Parmi les levures *Candida, etc...* Les moisissures ne sont pas transmises par foie fécale. A partir du tractus digestif ces microorganismes se retrouvent souvent dans les eaux et le sol à partir desquels ils contaminent les plantes. Rappelons que la charge microbienne totale d'un homme sain est voisine de 10^{17} à 10^{19} .

I.2.2. Matériels et instruments

Ils véhiculent des germes des eaux souillées ou d'autres aliments en cas de mauvaises pratiques de nettoyage et de désinfection.

I.2.3. L'homme est un agent très contaminant par ses mains

La peau contient des germes permanents, comme certains *Staphylocoques*, et des germes de transition.

- Les *Staphylocoques* ne peuvent pas être totalement éliminés par le nettoyage ou la désinfection (un lavage des mains, même très bien fait, n'a pas une efficacité de 100 %)
- les germes de transition présentent souvent de réels risques sur le plan de la santé, car sont souvent pathogènes (*Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenes, Pseudomonas...*).
- Les mains peuvent apporter des entérobactéries d'origine fécale.
- les sécrétions nasales ou buccales : *Staphylococcus aureus*.
- Les vêtements porteurs de poussières et donc de moisissures et de spores. Tout ceci montre la vulnérabilité de tous les aliments au contact du milieu ambiant. D'où l'importance de respecter une hygiène rigoureuse en fabrication, au plan de l'ambiance, du matériel et du personnel.

I.3. Interne

Les microorganismes proviennent de l'organisme à partir duquel l'aliment est produit, contamination "naturelle" suivie soit de la mort, de la survie ou de la prolifération des germes.

(<http://www.observ.be/article/6370>) Charge microbienne “normale” de la plupart de nos aliments est de l'ordre de $10^4/g$.

Il y a mort quand les microorganismes ne trouvent pas dans l'aliment les conditions nécessaires à leur croissance (composition, conditions d'entreposage, traitements antimicrobiens..).

La survie des microorganismes est liée à des conditions n'engendrant pas la mort mais ne permettant pas la multiplication (composition, froid ...).

Il y a prolifération quand les microorganismes trouvent les conditions nécessaires à leur croissance. Dans ce cas généralement défavorable il y a altération de la qualité marchande si les germes sont saprophytes et altération de la qualité sanitaire (et parfois marchande) si les germes sont “pathogènes”.

Dans la nature, les proliférations microbiennes par succession de flores ont pour finalité de minéraliser complètement le produit (dans le cas de microorganismes hétérotrophes).(ex: Autoépuration des eaux de surface).

La notion de charge microbienne en relation avec la qualité du produit est fonction de la nature du produit et de la nature du germe présent.

Tableau 1: Différentes origines des microorganismes dans les aliments.
(<https://studylibfr.com>)

Micro-organismes d'origine exogène (apportés secondairement dans l'aliment)		
micro-organismes provenant des milieux naturels	micro organismes d'origine humaine	Autres origines
sol - moisissures - actinomycètes - <i>Pseudomonas</i> - <i>Azotobacter</i> - <i>Arthrobacter</i> - <i>Clostridium</i> - <i>Bacillus</i>	eau - bacilles gram - (<i>Pseudomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Alcaligenes</i> ..) - <i>Micrococcus</i> - bactéries intestinales en cas de pollution animale ou humaine	Bactéries commensales de la peau, du rhinopharynx, de l'intestin (mains sales) Possibilité de bactéries pathogènes dans le cas de porteurs sains - <i>Salmonella</i> - <i>S.aureus</i> Ustensiles, surfaces Insectes

Document 2: Les flores commensales de l'Homme

NATURE DE LA FLORE	FLORE DE BASE	FLORE TRANSITOIRES
Flore cutanée prédominance des bactéries à Gram positif.	Staphylococcus epidermidis (blanc). Staphylococcus capitis (au niveau du cuir chevelu). Microcoques. Corynebactéries. Streptocoques.	Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa. Enterobactéries (mains, région anale).
Flore nasale prédominance de bactéries à Gram positif.	Staphylococcus epidermidis.	Staphylococcus aureus. Pseudomonas aeruginosa. Entérobactéries.
Flore bucco-pharyngée prédominance de bactéries à Gram positif.	Streptocoques α hémolytiques ou non hémolytiques. Streptocoques β hémolytiques des groupés C et G. Neisseria Corynebactéries Anaérobies de la flore de Veillon	Streptocoques β hémolytiques du groupe A. Pneumocoques. Staphylococcus aureus. Entérobactéries. Pseudomonas aeruginosa

Document 1: Origine des micro-organismes dans les aliments

Micro-organismes d'origine endogène (qui préexistent dans ou sur l'aliment)			
Micro-organismes des barrières de surface		Micro-organismes pathogènes	
Fruits et légumes - moisissures - levures - bactéries	Poissons et fruits de mer - <i>Vibrio</i> - <i>Aeromonas</i> - <i>Acinetobacter</i>	A partir d'animaux sains - <i>Clostridium botulinum</i> (porc) - <i>Campylobacter</i> (volailles,) - <i>Vibrio.parahaemolyticus</i> (poissons, fruits de mer) - <i>Salmonella</i> (volailles, animaux d'élevage) - <i>Listeria monocytogenes</i> (volailles, animaux d'élevage) - <i>Yersinia enterocolitica</i> (porc)	A partir d'animaux malades - <i>Mycobacterium tuberculosis</i> (vaches) - <i>Brucella abortus</i> (vaches, brebis) - <i>Listeria</i> (femelles laitières) - <i>Francisella tularensis</i> (lièvres)
Animaux Flores commensales de la cutanée, oropharyngée, intestinale			

I.3.1. Facteurs intrinsèques et extrinsèques des aliments qui affectent la croissance microbienne

Nos aliments étant d'origine végétale et / ou animale, il est utile de prendre en compte les caractéristiques des tissus végétaux et animaux qui affectent la croissance des microorganismes. Les plantes et les animaux qui servent de sources de nourriture ont tous mis au point des mécanismes de défense contre l'invasion et la prolifération de micro-organismes, dont certains restent en vigueur dans les aliments frais. En prenant ces phénomènes naturels en compte, on peut utiliser efficacement chacun d'eux pour prévenir ou retarder la croissance d'organismes pathogènes et de produits de détérioration dans les produits qui en sont dérivés.

I.3.1.1. Facteurs intrinsèques

Les paramètres des tissus végétaux et animaux qui font partie intégrante des tissus sont appelés paramètres intrinsèques. Ces paramètres sont les suivants :

- ✓ **pH** : Tous les micro-organismes ne réagissent pas de la même manière vis à vis du pH. Le pH influe notamment sur la perméabilité cellulaire et la disponibilité des substrats.

La plupart des microorganismes se développent mieux à des valeurs de pH voisines de 7,0 (6,6–7,5), alors que peu poussent en dessous de 4,0. Les bactéries ont tendance à être plus fastidieuses dans leurs relations au pH que les moisissures et les levures. En ce qui concerne les minimums et les maximums de pH pour les micro-organismes, ceux indiqués.

À la ne doivent pas être considérés comme des limites précises, car les valeurs réelles sont connues pour dépendre d'autres paramètres de croissance (**Borges 2013-2014**). (

Figure 1)

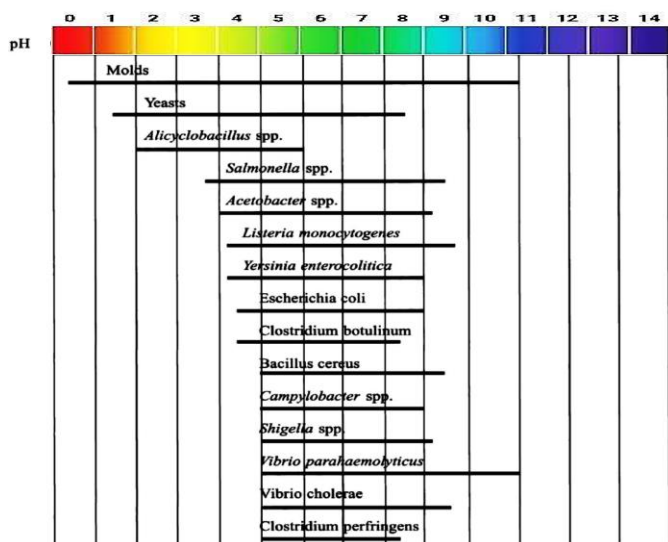


Figure 1 : Plages approximatives de croissance du pH pour certains organismes d'origine alimentaire. Les plages de pH de *L. monocytogenes* et de *S. aureus* sont similaires.

La plupart des légumes ont un pH inférieur à celui des fruits et, par conséquent, ils devraient être davantage sujets à la détérioration bactérienne qu'aux champignons.

Effets de pH : Un pH défavorable affecte au moins deux phénomènes d'une cellule microbienne en respiration : le fonctionnement de ses enzymes et le transport des nutriments dans la cellule. La membrane cytoplasmique des micro-organismes est relativement imperméable aux ions H⁺ et OH⁻. Leur concentration dans le cytoplasme reste donc probablement raisonnablement constante en dépit des variations importantes du pH du milieu environnant.

✓ **teneur en humidité :**

L'une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments est le séchage ou la dessiccation.

La plupart des aliments que nous consommons contiennent 20 à 90% d'eau et sont exposés aux détériorations biochimiques enzymatiques et microbiennes.

La conservation des aliments par séchage est une conséquence directe de l'élimination ou de la fixation de l'humidité, sans laquelle les microorganismes ne se développent pas. Il est maintenant généralement admis que les besoins en eau des micro-organismes devraient être décrits en termes d'activité de l'eau (a_w) dans l'environnement.

Ce paramètre est défini par le rapport entre la pression de vapeur de l'eau du substrat alimentaire et la pression de vapeur de l'eau pure à la même température : $a_w = p / p_0$.

Ce concept est lié à l'humidité relative (HR) de la manière suivante : $HR = 100 \times a_w$.

L'activité de l'eau (a_w) de la plupart des aliments frais est supérieure à 0,99. En général, les bactéries exigent des valeurs d' a_w plus élevées pour la croissance que les champignons, les bactéries à Gram négatif ayant des exigences plus élevées que les Gram positives. La plupart des bactéries d'altération ne se développent pas en dessous de $a_w = 0,91$, alors que les moisissures d'altération peuvent atteindre 0,80.

En ce qui concerne les bactéries intoxicantes aux aliments, *Staphylococcus aureus* peut atteindre une valeur aussi basse que 0,86, alors que *Clostridium botulinum* ne se développe pas en dessous de 0,94(**Figure 2**).

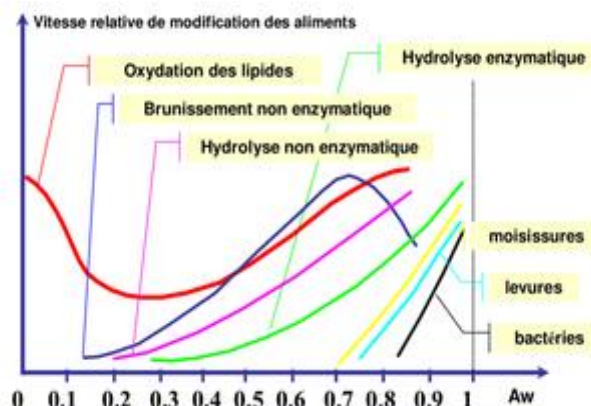


Figure 2: Vitesse de détérioration des aliments en fonction de l'activité de l'eau(<https://www.researchgate.net>)

Les moyens d'abaisser l'activité de l'eau sont nombreux :

- physiques (congélation, déshydratation);
- additifs (salage, sucrage.) Ils conduisent respectivement à des aliments congelés, séchés, aux salaisons et saumures, confitures et bonbons.

Effets de faible aw : L'abaissement de aw sous l'optimum a généralement pour effet d'allonger la phase de latence de la croissance et de diminuer le taux de croissance et la taille de la population finale. On peut s'attendre à ce que cet effet résulte des effets néfastes d'une diminution de la teneur en eau sur toutes les activités métaboliques, car toutes les réactions chimiques des cellules nécessitent un environnement aqueux.

En général, la stratégie employée par les micro-organismes pour se protéger contre le stress osmotique est l'accumulation intracellulaire de solutés compatibles.

- ✓ **Potentiel d'oxydoréduction (Eh)** : Le potentiel d'oxydoréduction d'un aliment influence aussi la détérioration.

Selon leur mode de respiration, les microorganismes sont soit aérobies stricts, soit anaérobies stricts, soit aéro-anaérobies, soit micro-aérophiles ... Ces propriétés expliquent la diversité des altérations des aliments que l'on peut rencontrer :

- Les champignons sont des organismes aérobies mais certains peuvent se développer en anaérobie et donc plus en profondeur des aliments.
- Les moisissures et les levures aérobies strictes se développent en surface en formant des voiles plus ou moins épais
- Les levures fermentantes se multiplient en profondeur avec production de gaz.
- Les bactéries aérobies strictes : ne se développent qu'en présence d'oxygène.
 - *Pseudomonas* : responsable de la putréfaction. Les bactéries anaérobies strictes : ne se développent qu'en absence d'oxygène.
 - *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* (dans les conserves mal stérilisées)

Les bactéries aéro-anaérobies : capables de se développer en absence ou en présence d'oxygène.

- *Salmonelles*, *Staphylocoques dorés*.(biotechno.fr/Facteurs-de multiplication-des.htm).

Le potentiel d'oxydoréduction d'un aliment dépend :

- De sa composition et de sa texture.

- De son conditionnement : avec ou sans emballage, l'emballage est plus ou moins perméable à l'air, l'aliment se trouve ou non sous une atmosphère artificielle (vide plus ou moins poussé, atmosphère d'azote et de dioxyde de carbone). (Guy Leyral-Elisabeth Vieerling 1996)

- ❖ **La structure physique** d'un aliment affecte également le déroulement et l'étendue de la décomposition. Broyer et mélanger des aliments, tels que les saucisses et les hamburgers, non seulement, augmentent la surface de la nourriture et altèrent la structure cellulaire, mais dispersent aussi les germes contaminants partout dans la nourriture. Ceci provoque une détérioration rapide si ces aliments sont mal conservés. Les légumes et les fruits ont des épidermes (pelures) qui les protègent d'une altération. Les microorganismes du pourrissement ont souvent des enzymes spécialisées qui les aident à affaiblir et à pénétrer les pelures protectrices, surtout lorsque les fruits et les légumes ont été blessés. (Prescott & Harley, 2003).
- ❖ **Les inhibiteurs** beaucoup d'aliments contiennent des substances antimicrobiennes naturelles, parmi lesquelles des inhibiteurs chimiques complexes et des enzymes. Les coumarines présentes dans les fruits et les légumes montrent une activité antimicrobienne. Le lait de vache et les œufs sont riches en lysozyme, une enzyme lytique pour les parois des bactéries Gram-positives contaminants. Les herbes et les épices contiennent souvent des substances antimicrobiennes importantes ; les mycètes y. Sont généralement plus sensibles que la plupart des bactéries. La sauge et le romarin sont deux des épices les plus antimicrobiennes. Il y a des composés aldéhydiques et phénoliques dans la cannelle, la moutarde et l'origan ; ce sont des inhibiteurs de la croissance microbienne. L'ail, qui contient l'allicine, et les clous de girofle, sont d'autres inhibiteurs importants. Cependant, les épices peuvent aussi contenir des organismes pathogènes et inducteurs de pourriture. Des coliformes, *B. cereus*, *C. perfringens* et des espèces de *Salmonella* ont été détectés dans la plupart des épices. Les microorganismes peuvent être éliminés ou réduits en nombre par stérilisation à l'oxyde d'éthylène. Ce traitement peut donner des épices et des herbes dépourvus de *Salmonella*, et réduire de 90% la teneur générale en organismes indicateurs de pourriture. Les thés vert et noir ont aussi des propriétés antimicrobiennes bien étudiés, à cause de leurs contenus en polyphénols. Ces thés sont actifs contre les bactéries, les virus et les mycètes et peuvent avoir des propriétés anticancéreuses. (Prescott & Harley, 2003)

L'un des modes d'inhibition important dans la nature et autant dans les aliments, est représenté par l'antagonisme bactérien. Il est direct ou indirect.

Dans l'antagonisme direct, le développement d'une espèce ou d'un genre s'oppose à celui des autres. Tout se passe, parfois, comme si le contaminant dont la multiplication est la plus rapide, occupait le terrain (vitesse de croissance).

Dans l'antagonisme indirect, l'espèce qui bloque les autres agit en synthétisant un antibiotique ou des substances dont le rôle est voisin, comme les bactériocines. En laiterie, des souches spéciales de Streptocoques lactiques produisent un antibiotique la nisine. Elle possède une action inhibitrice pour les *Clostridium* qui entraînent des altérations gazogènes des fromages (Leclerc et al. 1977).

✓ **La température** : Chaque micro-organisme a un domaine de température optimale favorisant son développement. En fonction de leur température optimale de croissance, on classe les microorganismes en plusieurs groupes dont les noms reflètent les divers domaines de tolérance thermique. On distingue trois types de bactéries selon leur optimum de température : Les psychrophiles et les psychrotrophes : les psychrophiles (ex : *Listeria monocytogenes*) sont des micro-organismes qui se développent à des températures allant de 0 à 20°C avec un optimum à 15°C. Ce sont des micro-organismes adaptés au froid. Les micro-organismes appartenant au groupe des psychrotrophes sont capables de se développer de 0 à 35°C avec un optimum de croissance de 20 à 35°C. C'est un groupe intermédiaire entre les psychrophiles et les mésophiles, et il est responsable des altérations microbiennes des aliments réfrigérés. Le groupe des psychrotrophes est représenté par des nombreuses bactéries dont les principaux genres sont *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Erwinia*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus* et *Streptomyces*. Notons aussi que les levures et moisissures sont pour la plupart psychrotrophes.

Les mésophiles : se multiplient à des températures allant de 20 à 40°C avec un optimum à 37°C. On les retrouve sur les aliments conservés à température ambiante ou dans les aliments réfrigérés lorsque la chaîne du froid a été rompue. Ce sont des espèces communes et des espèces pathogènes pour l'homme et l'animal ; ils sont pour la plupart des saprophytes naturels. (Ex : *Escherichia coli*, *Salmonelles*, *Staphylocoques*, *Campylobacter*...).

Les thermophiles : sont les micro-organismes qui se développent dans des températures allant de 40 à 65°C avec un optimum de 55°C. On les retrouve dans le sol, l'eau et même dans les sources thermales. En milieux alimentaires, ils sont représentés surtout dans les genres bactéries *Bacillus* et *Clostridium* et certaines moisissures *Aspergillus*, *Cladosporium* (Akloul 2019). Les conditions de stockage influencent donc la composition de la flore microbienne d'un aliment. L'exposition au froid sélectionne les espèces psychrotrophes et psychrophiles comme certaines espèces de *Pseudomonas*, *Flavobacterium* et *Achromobacter*, mais aussi *Listeria* et

Yersinia qui sont, impliquées dans des toxi-infections alimentaires, et attribuées à l'usage prolongé de la réfrigération. Inversement, le maintien d'un aliment à une température élevée a pour effet de détruire les espèces psychrophiles et psychrotrophes et de sélectionner les microorganismes thermophiles. Du fait de la thermorésistance de leurs spores, les microorganismes sporulés représentent un cas particulier. Un chauffage de 30 minutes à 115°C est en général nécessaire pour les détruire. Tout chauffage d'un aliment à des températures comprises entre 80 et 115°C sélectionne donc les espèces sporulées dont la plupart appartiennent aux genres Bacillus (bactéries aérobies) et Clostridium (bactéries anaérobies) (**Guy Leyral-Elisabeth Vieerling 1996**).

✓ **Teneur en éléments nutritifs** : Pour se développer et fonctionner normalement, les microorganismes, importants dans les aliments, nécessitent : l'eau, source d'énergie, source d'azote, vitamines et facteurs de croissance associés et les minéraux. L'importance de l'eau pour la croissance et le bien-être des micro-organismes est primordiale. En ce qui concerne les quatre autres groupes de substances, ce sont les moisissures qui ont le moins besoin, suivies des bactéries à Gram négatif, des levures et des bactéries à Gram positif. En tant que sources d'énergie, les micro-organismes d'origine alimentaire peuvent utiliser des sucres, des alcools et des acides aminés. Certains micro-organismes peuvent utiliser des glucides complexes tels que les amidons et la cellulose comme sources d'énergie en dégradant d'abord ces composés en sucres simples.

Les micro-organismes utilisent également les graisses comme source d'énergie, mais ces composés sont attaqués par un nombre relativement réduit de microbes présents dans les aliments.

Les principales sources d'azote utilisées par les microorganismes hétérotrophes sont les acides aminés.

I.3.1.2. Facteurs extrinsèques à l'aliment:

Ces paramètres sont intimement liés aux caractéristiques de l'environnement de l'aliment et influencent à la fois la stabilité du produit et le comportement des microorganismes qu'il contient.

✓ **Température d'entreposage** : Dans les microorganismes, la température augmente la vitesse de l'ensemble des réactions dont il est le siège (anabolisme et catabolisme) ; on observe donc une augmentation de la vitesse de croissance avec l'augmentation de la température. Quand la température augmente, la vitesse de dénaturation des protéines bactériennes (enzymes en particulier) augmente. Quand toutes les molécules protéiques à

activité métabolique sont dénaturées, le germe a une vitesse de croissance nulle et souvent, si des enzymes participant à l'expression de son génome sont inactivées, il meurt car ces phénomènes sont très souvent irréversibles.

Pour des températures inférieures à la température optimale de croissance, la vitesse des réactions impliquées dans le métabolisme et donc le taux de croissance diminuent. Cependant le "froid" ne conduit pas à une dénaturation significative des composants microbiens, ce qui conduit à une reprise des activités métaboliques dès que la température atteint des valeurs qui se rapprochent de la température optimale de croissance.

3.1.3. Caractères propres à l'aliment

- ✓ **Structures biologiques** : La présence d'enveloppes, coques, peaux etc. confère à certains aliments une excellente protection contre la prolifération microbienne (enveloppes des fruits, coquilles des noix, des œufs, peau des animaux, etc.) L'altération de ces protections naturelles se traduit souvent par une contamination / prolifération. Les emballages ont pour but principal de protéger l'aliment stabilisé ou non de la contamination.
- ✓ **Constituants antimicrobiens** : La stabilité de certains aliments contre les microorganismes est due à la présence de certaines substances naturelles possédant et exprimant une activité antimicrobienne. On sait que certaines espèces de plantes contiennent des huiles essentielles possédant une activité antimicrobienne. Parmi ceux-ci figurent l'eugénol dans les clous de girofle, l'allicine dans l'ail, l'aldéhyde cinnamique et l'eugénol dans la cannelle, l'isothiocyanate d'allyle dans la moutarde, l'eugénol et le thymol dans la sauge et le carvacrol (isothymol) et le thymol dans l'origan. Le lait de vache contient plusieurs substances antimicrobiennes, notamment la lactoferrine, la conglutinine et le système Lactoperoxydase.
- ✓ **Composition chimique de l'aliment** : Pour proliférer, les microorganismes doivent trouver dans l'aliment des substances nutritives. Les microorganismes dangereux sont pour la plupart hétérotrophes chimio-organotrophes et doivent donc trouver leur énergie dans les composants de l'aliment. Ils doivent aussi y trouver de l'eau, une source d'azote, des minéraux et pour certains des vitamines et des facteurs de croissance. Plus la diversité de composition d'un aliment est grande (produits animaux tels que les viandes et dérivés, le lait ...) et plus sa susceptibilité à servir de milieu de culture est importante.

Chapitre II

Les bactéries pathogènes des aliments

II.1. Les microorganismes les plus fréquemment observés dans les aliments

II.1.1 Les microorganismes utiles

Les bactéries **lactiques** sont utiles dans la fabrication de yaourts et de fromages mais aussi dans la fabrication d'autres produits. Les **bifidobactéries** sont apportées dans les laits fermentés et elles peuvent rester présentes jusqu'à la date limite de consommation, elles sont aussi à l'origine d'un arôme particulier. Les **corynébactéries** sont présentes sur la croûte des fromages mais aussi peuvent être utilisées dans la synthèse d'acides aminés. Les bactéries **acétiques** permettent la fermentation acétique, on peut les retrouver dans le vin ou encore le cidre sous forme d'un léger voile qui se forme à la surface. Les bactéries **propioniques** sont nécessaires à l'affinage des fromages à pâte pressée cuite. Elles sont responsables de la conservation de ces aliments mais leur donnent aussi un goût particulier.

II.1.2. Bactéries responsables de maladies d'origine alimentaire

Les aliments contaminés par des bactéries pathogènes peuvent représenter un risque sérieux pour la santé du consommateur. La surveillance des agents pathogènes tout au long de la chaîne de production est donc cruciale pour assurer la protection du consommateur.

Au cours de la prolifération des modifications d'aspect (couleur, texture, odeur et saveur) apparaissent. Les modifications qu'ils produisent sont le plus souvent défavorables (rancissement, liquéfaction, odeur putride etc...).

Les principales bactéries pathogènes dans les denrées alimentaires sont les *Campylobacter* et les *salmonelles*. Mais les bactéries *Escherichia coli* entérohémorragiques (ECEH) dans les jeunes pousses ont elles aussi font les gros titres ces dernières années.

L'ingestion d'aliments infectés par des microorganismes pathogènes (certaines bactéries, virus, parasites, ou leurs toxines), peut entraîner des maladies, nommées toxi-infections alimentaires (TIA), chez le consommateur. Ces microorganismes pathogènes, du fait de leur capacité à se disperser ou à proliférer dans les aliments, représentent un problème en santé publique pour notre société.

II.2. La qualité hygiénique

Salubrité d'un aliment correspond à une qualité seuil et la norme zéro défaut (*Salmonella*) doit être atteinte pour certains systèmes aliment-microorganisme en particulier à partir du moment où la présence du microorganisme dans le produit risque d'avoir une incidence défavorable et parfois très grave sur la santé du consommateur.

Actuellement les maladies microbiennes d'origine alimentaire sont des affections dont chacun d'entre nous peut être la victime. Habituellement les symptômes ressentis ont une localisation gastro-intestinale. Le changement du mode de vie déterminé par un passage de la cuisine familiale à la restauration collective et les fast-foods, un recours à des aliments préparés à l'avance hors maison, l'apparition de produits nouveaux ont conduit à une augmentation des risques.

Grâce à la mise en œuvre de politiques publiques de lutte contre les maladies, l'alimentation s'est considérablement sécurisée, mais elle n'en reste pas moins un vecteur possible d'agents pathogènes (**Fleming, 2014**). Sources principales de microorganismes pathogènes trouvées dans les aliments

Les toxi-infections alimentaires collectives (TIAC), sont, parmi les maladies transmissibles par les aliments, et qui ont vu un accroissement considérable, cette dernière décennie. Comme il a été noté, par l'institut national de la santé publique de l'Algérie, que cette élévation ne semble pas liée à la dégradation de l'état sanitaire mais plutôt à la performance et l'amélioration continue de système de surveillance et/ou de procédures de suivi. Le rapport de la FAO (2005) a aussi remarqué cette amélioration du système de surveillance. Entre autre, malgré les efforts faits par l'Algérie, dans ce contexte, les chiffres déclarés par les autorités compétentes «ne reflètent pas la réalité» pour la seule raison qu'il s'agit de cas déclarés par les différents services sanitaires (**Le Jour D'Algérie 2018**). Comme il a été, aussi, rapporté par **Ziane 2015** dans le rapport de la FAO.

Le contrôle, la surveillance et la prévention des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) sollicitent une collaboration étroite entre les médecins, les vétérinaires, les épidémiologistes et les professionnels de la restauration collective et du secteur agroalimentaire (**Lagier 2017, Djossou et al., 2010**).

II.3. Bactéries responsables de maladies d'origine alimentaire

II.3.1 Définition des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC)

définissent les toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) comme des accidents aigus d'intoxication résultants de l'ingestion d'aliments infectés par des bactéries ou par leurs toxines, virus, parasites et certains métaux lourds, déterminées par l'apparition d'au moins deux cas d'une symptomatologie, en général digestive, dont on peut rapporter la cause à une même origine alimentaire(**Djossou et al., 2010**).

Les intoxications peuvent être d'origine bactérienne, comme par exemple l'intoxication staphylococcique et le botulisme, ou d'origine de moisissures qui produisent des mycotoxines.

Certaines caractéristiques générales de l'intoxication alimentaire sont :

- La toxine est produite par un pathogène lors de sa croissance dans un aliment.
- Une toxine peut être thermolabile ou stable à la chaleur.
- L'ingestion d'un aliment contenant, non des cellules microbiennes viables, mais une toxine active est nécessaire pour l'empoisonnement (sauf pour le botulisme infantile, dans lequel des spores viables doivent être ingérées).
- Les symptômes apparaissent habituellement rapidement, 30 min après l'ingestion.
- Les symptômes diffèrent selon le type de toxine ; les neurotoxines constituent des symptômes neurologiques et les entérotoxines produisent des symptômes gastriques.
- Le symptôme fébrile n'est pas présent. (<https://www.blv.admin.ch/blv/fr>)

II.4. Epidémiologie des TIAC dans le monde

Les infections gastro-intestinales dues aux bactéries, virus et parasites présents dans les aliments, font plus de 420.0000 morts par an dans le monde selon l'OMS 2018. Les trois micro-organismes principalement en cause sont successivement : *Salmonella spp. (Enteritidis et Typhimurium)*, *Staphylococcus aureus* et *Clostridium perfringens* (**Haghebert et al.,2000**). En plus, *Escherichia coli*0157 :H7, *Campylobacter* et *Shigella* peuvent être la cause d'épidémies. Les TIAC se manifestant en milieu familial sont le plus souvent dues à *S.enterica enteritidis* et engendrent relativement peu de malades. Par contre en milieu scolaire, les TIAC sont dues essentiellement à *C.perfringens* et *S.aureus* et frôlent un nombre de personnes beaucoup plus élevé (**Djossou et al., 2010**).

Les coliformes thermotolérants, dont l'espèce la plus fréquemment associée est l'*Escherichia coli*, sont à l'origine de gastro-entérites banales chez l'adulte. Cependant certaines souches comme les *E. colientérohémorragiques* (EHEC) sont à l'origine des toxi-infections alimentaires graves, principalement transmises par les viandes hachées crues ou mal cuites (**Cohen and Karib 2006**).

En 2017 le Ministère de la Santé d'Algérie a enregistré plus de 10000 cas d'intoxication alimentaire au niveau national, 40% des cas surviennent pendant les fêtes et 60% au niveau des restaurants collectifs, particulièrement les écoles et les universités.

En Algérie, 07 Wilayas de l'Est ont été touchées par le botulisme, il a été avancé 244 cas avec 38 décès, soit un taux de létalité de 15.57% durant la période allant de Juillet à Septembre

1998 (Khernane et al., 2000). La restauration collective est la plus incriminée avec 60% (Madhkour et al., 2009). Les intoxications alimentaires ont tendance à se propager pendant la période estivale et de grandes chaleurs, par l'eau, la nourriture des fast-foods et les repas de fêtes.

II.5. Mécanismes d'action des microorganismes incriminés dans les TIAC

Les différents microorganismes incriminés dans les TIAC sont classés selon trois grands mécanismes :

- ❖ Microorganismes possédant une action invasive : *Salmonella* (sérotype *Typhimurium*, *Enteritidis*), *Shigella*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*;
- ❖ Microorganismes possédant une action entérotoxigène: *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* entérotoxigènes, *Escherichia coli* entérohémorragiques, *Aeromonas hydrophila*;
- ❖ Microorganismes possédant une action cytotoxique: *Vibrio para-haemolyticus*, Les *Calicivirus*, le virus *Norwalk-like* (Malvy 2011).

Par conséquent, les trois principales bactéries pathogènes qui seront revues dans notre étude sont : ***Salmonella*, *Escherichia coli* et *Campylobacter***

II.5.1. *Salmonella*

La bactérie *Salmonella*, à Gram négative, a été découverte par le scientifique américain Salmon en 1885. La **salmonellose** est une infection bactérienne causée des entérobactéries nommées *Salmonella*. Ces bactéries sont omniprésentes et très résistantes, pouvant survivre plusieurs semaines dans un environnement sec et plusieurs mois dans l'eau. Dans la plupart des cas, les salmonelles sont transmises à l'homme à travers des aliments crus ou peu cuits comme les œufs, la viande, la volaille ou le lait cru. Des fruits et légumes contaminés par du fumier ou lavés dans des eaux usagées peuvent également provoquer une contamination et provoquer des problèmes de santé graves.



Figure 3.Bactérie *Salmonella* (www.efsa.europa.eu)

Au sein de 2 espèces, *Salmonella bongori* et *Salmonella enterica*, on a identifié jusqu'à présent plus de 2500 sérotypes ou sérovars différents.

Quatre de ces stéréotypes (*S. typhi*, *S. paratyphi A*, *B*, et *C*) sont à l'origine des maladies infectieuses appelées fièvres typhoïdes ou paratyphoïdes en ce qui concerne les toxi-infections alimentaire, *Salmonella enteridis* est l'espèce la plus fréquemment impliquées.

II.5.1.1. La maladie

Les **symptômes** d'une intoxication aux salmonelles se manifestent par des troubles gastro-intestinaux. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), « une apparition brutale de fièvre, de douleurs abdominales, de la diarrhée, des nausées et parfois des vomissements » est un signe d'une salmonellose. De manière générale, les premiers signes apparaissent 6 à 72 heures suivant l'ingestion d'un aliment contaminé.

Les bactéries *Salmonella* non typhiques sont les plus habituellement en cause dans les toxi-infections alimentaires. La dose infectante doit être supérieure aux capacités de défense du tube digestif, et on admet que la dose minimale infectante est généralement supérieure ou égale à 10^5 bactéries.

La plupart des cas (90%) de salmonellose est provoquée par la consommation d'un aliment infecté, particulièrement de la viande, des œufs (*S. enteritidis*), et des produits laitiers (**Jabrane et al., 2008**). Les aliments souillés peuvent être frais et avoir un aspect et une odeur tout à fait normaux. La rupture de la chaîne de froid est l'un des risques de contamination des aliments, particulièrement en été, qui est une saison très favorable à la salmonellose. Seule la cuisson peut avoir raison de *Salmonella*, d'où les risques liés à la consommation d'aliments crus.

II.5.1.2. Méthodes de prévention

La prévention de la salmonellose passe par une bonne hygiène. Pour éviter de contracter cette pathologie provoquée par les bactéries *Salmonella*, il est recommandé de se laver les mains régulièrement et de ne pas consommer des aliments crus, surtout d'origine animale (viande crue, produits laitiers contaminés, etc...). (**Santé magazine 2022**)

La salmonellose reste la deuxième cause d'infection gastro-intestinale chez l'homme après la campylobactériose, et une cause importante d'infection d'origine alimentaire en Europe avec 91 857 cas confirmés en 2018, soit un taux de 20,1 cas/100 00 habitants (**EFSA and ECDC 2019**).

II.5.2. *Campylobacter*

Les bactéries du genre *Campylobacter* présentent généralement une morphologie spiralée, en forme de S ou en bâtonnets incurvés. Actuellement, on dénombre 17 espèces et 6 sous-espèces de *Campylobacter*, la plus fréquemment associée aux maladies humaines étant les espèces *C.jejuni* (sous-espèce *jejuni*) et *C.Coli*. D'autres espèces comme *C.lari* et *C.upsaliensis* ont également été isolées chez des patients présentant une maladie diarrhéique, mais elles sont moins fréquemment signalées (**OMS 2020**).

La charge des maladies d'origine alimentaire, y compris la campylobactériose, est substantielle : tous les ans, près d'une personne sur 10 tombe malade et 33 millions d'années de vie en bonne santé sont perdues. Les maladies d'origine alimentaire peuvent être graves, en particulier chez les jeunes enfants. Les maladies diarrhéiques sont les maladies les plus courantes causées par des aliments impropres à la consommation : 550 millions de personnes malades chaque année (dont 220 millions d'enfants âgés de moins de 5 ans). *Campylobacter* est l'une des 4 principales causes mondiales de maladies diarrhéiques.

L'incidence élevée de la diarrhée due à *Campylobacter*, ainsi que sa durée et ses complications éventuelles, revêtent une importance majeure du point de vue socioéconomique. Dans les pays en développement, les infections à *Campylobacter* sont particulièrement fréquentes chez les enfants âgés de moins de deux ans, conduisant parfois au décès.

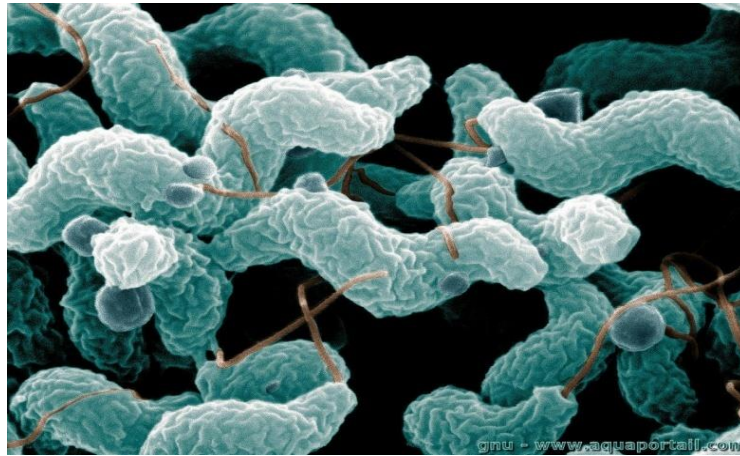


Figure 4: Bactérie de *Campylobacter* (www.aquaportail.com)

II.5.2.1. La maladie

La campylobactériose est la maladie causée par l'infection à *Campylobacter*.

- Fréquemment, les symptômes de cette maladie apparaissent 2 à 5 jours après l'infection par la bactérie, mais la durée de la période d'incubation peut aller de un à 10 jours.
- Les symptômes cliniques les plus fréquents des infections à *Campylobacter* sont: diarrhée (souvent sanglante), douleurs abdominales, fièvre, céphalées, nausée et/ou vomissements. Les symptômes durent habituellement entre trois et six jours.
- Les décès par campylobactériose sont rares et ne concernent généralement que les très jeunes enfants ou les patients âgés, ou encore les personnes souffrant déjà d'une autre maladie grave comme le sida.
- Des complications telles que bactériémie (présence de bactéries dans le sang), hépatite, pancréatite (infection du foie et du pancréas, respectivement) et fausse-couche ont été rapportées avec divers degrés de fréquence. On peut également observer des complications post-infection : arthrite réactionnelle (inflammation douloureuse des articulations qui peut durer plusieurs mois) et troubles neurologiques comme le syndrome de Guillain-Barré, une forme de paralysie présentant des similitudes avec la poliomyélite et pouvant entraîner des dysfonctionnements respiratoires et neurologiques sévères, dans un petit nombre de cas.

II.5.2.2 Sources et transmission

Les espèces du genre *Campylobacter* se retrouvent chez la plupart des animaux à sang chaud. Elles sont présentes chez les animaux destinés à l'alimentation tels que volailles, bovins,

porcs, ovins et autruches, et chez les animaux de compagnie tels que chiens et chats. On a également retrouvé ces bactéries chez les crustacés.

De manière générale, on pense que la principale voie de transmission est alimentaire et passe par la consommation de viande et de produits dérivés de la viande insuffisamment cuits ou de lait cru ou contaminé. L'eau ou la glace contaminées sont aussi sources d'infection. Une certaine proportion des cas résulte du contact avec une eau contaminée dans le cadre d'activités récréatives.

La campylobactériose est une zoonose, c'est à dire une maladie transmise aux hommes par des animaux ou des produits animaux. La plupart du temps, les carcasses ou les viandes sont contaminées par les bactéries *Campylobacter* présentes dans les matières fécales durant l'abattage. Il est rare que cette bactérie provoque des maladies chez l'animal.

La contribution relative de chacune des sources précédemment mentionnées à la charge de morbidité globale n'est pas clairement établie, mais on pense que la consommation de viande de volaille contaminée et insuffisamment cuite représente une contribution majeure. Comme les flambées ayant une source commune représentent plutôt une faible proportion des cas, la vaste majorité des signalements portent sur des cas sporadiques, sans schéma facilement discernable.

Estimer l'importance de toutes les sources connues est donc extrêmement difficile. En outre, le fait que les bactéries *Campylobacter* soient largement répandues entrave aussi le développement de stratégies de lutte couvrant l'ensemble de la chaîne alimentaire. Cependant, dans les pays ayant mis en place des stratégies spécifiques pour réduire la prévalence de cette bactérie chez les volailles vivantes, on observe une réduction similaire de la fréquence des cas humains.

II.5.2.3. Méthodes de prévention

Il existe un certain nombre de stratégies qui peuvent être mises en œuvre pour prévenir les maladies à *Campylobacter*.

- La prévention repose sur la mise en œuvre de mesures de lutte à tous les stades de la chaîne alimentaire, de la production agricole au niveau d'une ferme à la transformation, à la fabrication et à la préparation des aliments en milieu industriel ou domestique.

- Dans les pays dépourvus de systèmes satisfaisants d'élimination des eaux usées, les matières fécales et les objets souillés par ces matières doivent être désinfectés avant leur élimination.
- Les mesures pour réduire la prévalence de *Campylobacter* chez les volailles comprennent le renforcement de la sécurité biologique en vue d'éviter la transmission de cette bactérie de l'environnement aux oiseaux présents dans les fermes. Cette option de lutte contre l'infection n'est praticable que si les oiseaux sont maintenus en milieu fermé.
- Les bonnes pratiques d'abattage respectueuses de l'hygiène réduisent la contamination des carcasses par des matières fécales, mais ne garantissent pas l'absence de *Campylobacter* dans la viande et les produits dérivés. L'éducation des employés des abattoirs et des ateliers de production de viande brute à la manipulation hygiénique des aliments est essentielle pour maintenir la contamination au plus bas niveau.
- Les méthodes de lutte contre l'infection dans les cuisines domestiques sont similaires à celles employées contre d'autres maladies bactériennes d'origine alimentaire.
- Les traitements bactéricides comme la chaleur (cuisson ou pasteurisation, par exemple) ou l'irradiation sont les seules méthodes efficaces pour éliminer *Campylobacter* des aliments contaminés.

II.5.3. *Escherichia coli*

La bactérie *Escherichia coli*, à Gram-négative, découverte en 1885 par Theodor Escherich est une espèce bactérienne de la famille des entérobactéries, hôte normal de la microflore digestive de l'homme et d'animaux (Mangin, et al., 2007), fermentant le lactose à 44 °C, avec production de gaz.. Cette bactérie est aussi présente dans les selles ; on peut donc la retrouver dans les sols et dans l'eau, c'est à ce titre qu'elle est utilisée comme indicateur de pollution fécale.

E. coli est une bactérie dont 95% des souches ne sont pas dangereuses pour l'être humain. On la qualifie généralement de "bactérie commensale". Habituellement elle colonise l'intestin des animaux à sang chaud. Elle est transmise au nouveau-né par le microbiote maternel, puis par voie orale, à partir de l'alimentation. Elle est un élément essentiel du microbiote intestinal, dont on sait aujourd'hui qu'en plus de jouer un rôle dans la digestion, il assure des fonctions physiologiques et immunitaires) (do O'Gomes 2022)

Pour les scientifiques, c'est un organisme vivant modèle. *E coli* est facile à élever, se reproduit rapidement, de ce fait, en 3 jours, 200 générations sont déjà observées. Elle a l'avantage d'avoir un génome qui peut muter facilement et se transmettre. Elle échange, sans

hésiter, du matériel génétique avec d'autres familles de bactéries. Elle peut ainsi intégrer d'autres gènes (gènes de résistance aux antibiotiques) (do O'Gomes 2022).

Le genre *E. coli* rassemble cinq espèces : *E. blattae*, *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii* et *E. vulneris*. Il s'avère essentiel de noter que les membres d'une même espèce montrent fréquemment plus de 70% homologie génomique alors, qu'entre espèces différentes, l'homologie est inférieure à 60%. Chaque espèce d'*Escherichia* dispose des caractéristiques biochimiques spécifiques, pouvant ainsi de les différencier. (Barka 2012).

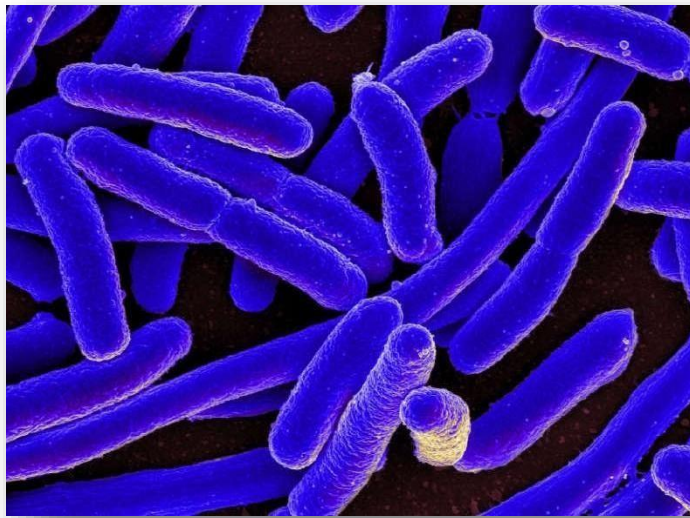


Figure 5:Bactérie *Escherichia coli* (Ray, 2010)

II.5.3.1. La maladie

5% de souches d'*E.coli* sont pathogènes pour l'être humain. On les classe en deux catégories, selon qu'elles infectent l'intestin ou s'attaquent à d'autres organes. C'est dans la vessie que l'infection est la plus courante. 12% des femmes seraient touchées chaque année par une infection urinaire, et dans 80% des cas *E. Coli* en seraient la cause. Chez le nouveau-né, en s'attaquant au cerveau et à la circulation sanguine, *Escherichia coli* est la deuxième cause de méningite et de septicémie. A l'hôpital, *Escherichia Coli* est responsable de 26% des infections nosocomiales.

La découverte de la souche 0157 :H7 remonte à 1982 où deux épidémies de colite hémorragique sévère apparurent aux États-Unis après consommation de hamburgers insuffisamment cuits provenant d'une même chaîne de restauration rapide. Les analyses des

selles des patients et de la viande de bœuf congelée mirent en évidence une souche *E. coli* ayant le sérotype 0157 :H7.

L'effet néfaste d'*E. coli* 0157:H7 sur la santé est dû à la production par la bactérie d'une grande quantité de vérotoxines ou de shigatoxines (Toxine qui détruit certaines cellules des reins et de l'intestin) qui causent des colites hémorragiques et des insuffisances rénales parfois mortelles, surtout chez les enfants de moins de 5 ans. Il peut entraîner des complications neurologiques (convulsions, accidents cérébro-vasculaires et coma) chez 25% des patients atteints et laisser des séquelles rénales chroniques, bénignes en général, chez 50% des survivants (OMS 2018)[OMS 2018 : *E. coli*].

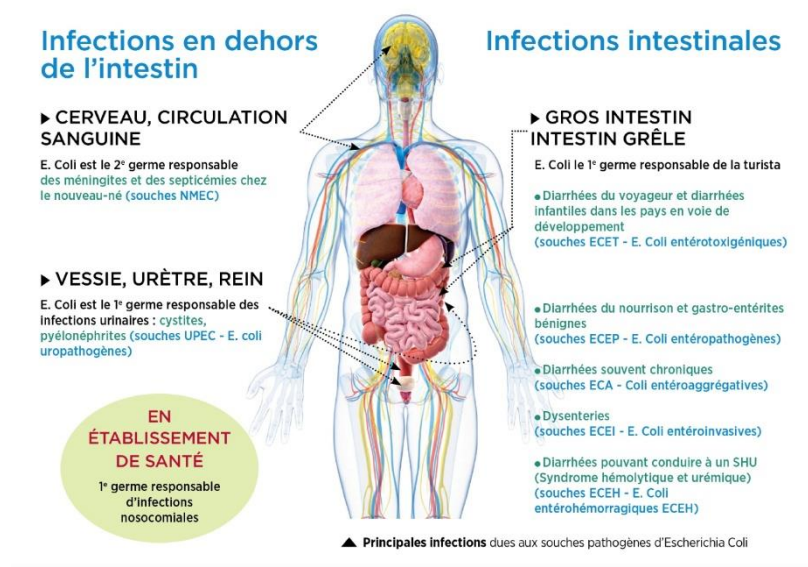


Figure 6:principales infections dues aux souches pathogènes d' Escherichia coli (<https://www.sciencesetavenir.fr>).

Malheureusement, il existe très peu de données des cas de contaminations d'*E.coli* en Afrique et particulièrement en Algérie. De ce fait, Chahed 2006 a noté que les premières recherches des STEC O157 ont été mises en place à l'Institut Pasteur d'Alger avec une étroite collaboration avec le laboratoire national de référence en microbiologie des aliments de l'université de Liège.

II.5.3.2. Sources d'infection et transmission

E. coli, a été identifié quand on a parlé de "maladie du hamburger" parce que tous les patients infectés avaient consommé du steak haché contaminé. Le mode de transmission est bien plus large puisque les animaux, qu'ils soient dits d'élevage ou sauvages peuvent être des porteurs sains. Donc le mode de transmission principal est la consommation d'aliments contaminés : produits carnés ou produits laitiers, au lait cru en particulier.

Néanmoins, des fruits et des légumes crus non pelés ou de l'eau non traitée peuvent être sources de contamination s'ils ont été au contact de matières fécales d'animaux contaminés.

La contamination peut aussi se faire par contact avec des animaux de ferme ou avec leur environnement. Il existe aussi d'autres modes de transmission inter-humaine dans les lieux familiaux. Le contact avec des animaux porteurs sains, ou encore avec des éléments, du milieu extérieur, souillés par des fèces (Ex : les eaux de baignades, eaux de boisson insuffisamment chlorés, les sols, ...) (**Breuer et al., 2001**).

II.5.3.3. Méthodes de prévention

La première des préventions consiste à appliquer strictement les mesures d'hygiène et de contrôle à tous les stades de la chaîne alimentaire, de la production à la préparation des aliments, aussi bien dans les établissements industriels qu'en milieu familial.

Ces bactéries résistent au froid et colonisent de nombreux milieux différents (terre, végétaux, animaux, eaux...). Il est nécessaire de prendre quelques prudences telles que :

- les viandes, et surtout la viande hachée de bœuf, doivent être bien cuites ;
- le lait cru et les fromages à base de lait cru ne doivent pas être consommés par les jeunes enfants, surtout les moins de 5 ans ; préférer les fromages à pâte cuite, les fromages fondus à tartiner et les fromages au lait pasteurisé ;
- respecter la date limite de consommation ;
- consommer rapidement les produits après ouverture et les plats après préparation ;
- respecter la chaîne du froid ;
- dans le réfrigérateur conserver les aliments crus séparément des autres pour éviter leur contamination.
- régler le réfrigérateur à une température basse (au plus 4°C) ;
- laver les fruits et légumes avant consommation ;
- nettoyer régulièrement le réfrigérateur à l'eau de javel ;
- laver mains, plans de travail et ustensiles après contact avec des aliments crus pour éviter la contamination des aliments sains (<https://agriculture.gouv.fr/e-coli-quest-ce-que-c'est?>).

Chapitre III

Mécanismes d'adaptation des bactéries
pathogènes aux différents stress
environnementaux

III.1. Définition

Un micro-organisme survit et se développe lors qu'il se trouve dans un état d'équilibre dynamique caractérisé par un cycle d'échanges avec le milieu extérieur. Une perturbation chimique ou physique survenant dans son environnement proche peut induire un éloignement de cet équilibre qui se traduit par un stress cellulaire.

Les bactéries sont capables de vivre dans des milieux extrêmement variés car elles possèdent des systèmes de protection efficaces contre les différents stress qu'elles peuvent rencontrer.

III.2. Réponses aux stress

Les différentes stratégies qu'utilisent les bactéries pour répondre aux divers stress :

- fuir le stress (bactéries possédant un ou des flagelles) ;
- produire des facteurs de virulence tels que des toxines (cas des bactéries pathogènes lors de l'attaque invasive) ;
- former des spores de résistances ;
- se développer sous la forme de biofilm ;
- éliminer le stress (dégradation des molécules toxiques tels que les antibiotiques) ;
- tolérer le ou les stress : réparation des dommages intracellulaire et adaptation physiologique et moléculaire (www.nexidia.fr).

Les microorganismes sont exposés, dans leur environnement, à des conditions hostiles qui causent des changements dans leur métabolisme essentiels à leur survie et à leur adaptation.

C'est la résistance du microorganisme face à ce changement qui déterminera sa survie. Ainsi, des mécanismes de défense ont été développés au fil de l'évolution de chacun pour survivre aux stress environnementaux(**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

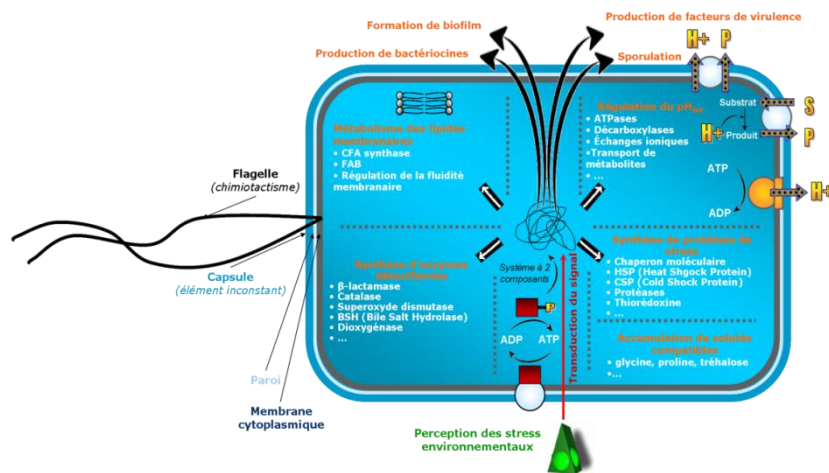


Figure 7: Les différents mécanismes de résistance aux les bactéries alimentaire pathogènes (www.nexidia.fr)

Les micro-organismes possèdent des capacités d'adaptation notables à certains stress physico-chimiques rencontrés dans leur environnement. Le déclenchement de mécanismes cellulaires complexes génère une réponse adaptative de la bactérie qui arrive à un état de tolérance et par conséquent à une survie dans des conditions qui sont généralement létales.

La culture de cellules en conditions défavorables sublétales permet à ces cellules de se préadapter aux conditions de stress et ainsi d'améliorer leur résistance. Des caractères de résistance induit par un mode de production adapté et performant, par les bactéries, va leur permettre de produire des préparations présentant une vitalité et une viabilité augmentée.

D'une manière générale, face aux stress, les bactéries peuvent répondre selon différentes stratégies :

III.2.1. Fuir le stress (bactéries possédant un ou des flagelles)

Les bactéries se déplacent vers les lieux les plus favorables, et s'éloignent des endroits hostiles. Pendant leur déplacement, elles vont mesurer des facteurs environnementaux tels la concentration, ainsi, elles se dirigent vers les lieux concentrés en une substance (ex : en sucres), par chimiostaxisme. D'autres dosent la concentration en O₂ par aérotaxisme, la lumière par phototaxisme, la température par thertotaxisme et la pression osmotique c'est osmotaxisme.

Les cils et les flagelles, sont les moyens de déplacement de certaines bactéries. Ils sont porteurs d'antigènes qui permet leur identification sérologique (ex : *Salmonella enterica*, *E. coli*) (anonyme : cours de bactériologie 2^{ème} Année).

III.2.2. Produire des facteurs de virulence tels que des toxines

Les **toxines** sont des substances toxiques et antigéniques élaborées par les bactéries. On distingue deux **types de toxines bactériennes** :

- les **toxines** protéiques ou exotoxines : elles se trouvent sur la face externe de la membrane externe des bactéries Gram (-). Elles sont libérées suite à la lyse des bactéries. Ceci peut intervenir lors d'une septicémie à bacille G(-) traitée massivement par des antibiotiques.
- les **toxines** glucido-lipido-protéiques ou endotoxines : Les **endotoxines** sont des molécules complexes, composants de la paroi de certaines bactéries (Gram négatives). Ces molécules libérées lors de la multiplication ou de la destruction des bactéries, persistent longtemps dans l'environnement et résistent à de nombreux agents chimiques ou physiques.

III.2.3. Former des spores de résistances

Certaines bactéries à Gram+ sont capables de développer forme de résistance particulière en conditions défavorables : les spores, nommées aussi les endospores.

L'endospore ou spore est un organite facultatif qui se forme au sein du cytoplasme de certaines bactéries et qui diffère de la cellule **végétative** par sa forme, sa structure, son équipement enzymatique et par sa résistance aux agents physiques et chimiques ce qui lui permet de survivre dans des conditions très défavorables.

Les spores sont des formes dormantes, sans métabolisme actif, qui se transforment à nouveau en forme végétative (germination) quand les conditions environnementales redeviennent favorables. Ces spores sont extrêmement résistantes à la chaleur, à la dessiccation et aux antiseptiques, et totalement résistantes aux antibiotiques.

Les spores sont en effet douées d'une longévité et d'une résistance importante. La longévité est difficile à apprécier mais elle pourrait atteindre plusieurs milliers d'années pour certaines espèces de *Bacillus*. La thermorésistance est très variable selon les espèces, selon les souches, selon l'âge des cultures et selon les conditions de culture. (<http://www.biologiemarine.com>).

III.2.4. Formation de biofilm

Parmi les stratégies qui permettent aux bactéries les biofilm, ils sont des agrégats de microorganismes (bactéries, champignons, algues ou protozoaires enfermés dans une matrice de polymère extracellulaire autoproduite, et qui se lie à surface biotique ou abiotique (**Costerton**

et al., 1999; Hall-Stoodley and Stoodley, 2009; Jacques et al., 2010). Ils peuvent se trouver aussi sous forme de biofilms flottants (appelés pellicules) aux interfaces liquide-air

(Vaccari et al., 2017). Les biofilms peuvent contenir une seule ou plusieurs espèces bactériennes à la fois **(Moons et al., 2009)**, et il va s'établir lorsque les bactéries passent d'un état planctonique à un état lié à la surface.

III.2.5. Éliminer le stress (dégradation des molécules toxiques tels que les antibiotiques)

✓ résistance aux antibiotiques :

Les principaux sites d'action des antibiotiques sont la paroi bactérienne, le ribosome, l'ADN bactérien, la membrane cytoplasmique. Les quatre principaux mécanismes de résistance sont l'imperméabilité, l'inactivation enzymatique, la modification de la cible de l'antibiotique et l'efflux actif.

La cible des antibiotiques au niveau de la paroi bactérienne est un constituant indispensable à la bactérie : le peptidoglycane. Celui-ci est en perpétuel remaniement, résultat d'un équilibre dynamique fragile entre activité de synthèse par les PLP (protéines liant la pénicilline) et d'hydrolyse par les autolysines . Les β -lactamines (pénicillines, céphalosporines) forment une famille d'antibiotiques caractérisée par la présence d'un noyau β -lactame. Ces molécules sont capables de se lier aux PLP par liaison covalente et d'inhiber leur activité. L'équilibre entre lyse et synthèse du peptidoglycane est alors rompues, les bactéries deviennent incapables de résister à la pression osmotique exercée sur leur membrane plasmique et meurent par lyse osmotique (<https://planet-vie.ens.fr>).

III.2.5. Tolérer le ou les stress : réparation des dommages intracellulaire et adaptation physiologique et moléculaire

les cellules (bactériennes ou eucaryotes) répondent à ce stress par développement d'une "Réponse aux Dommages de l'ADN" (ou DDR pour DNA Damage Response) qui leur permet de détecter, réparer ou tolérer ces dommages.

Les cellules possèdent deux mécanismes qui leur permettent de dupliquer leur ADN malgré la présence de lésions non réparées et donc de poursuivre leur division : le premier utilise l'information génétique (la séquence nucléotidique) présente sur le brin complémentaire d'ADN pour restaurer l'information génétique de manière fidèle au niveau de la lésion (un processus nommé "recombinaison homologue": RH). Le deuxième mécanisme utilise des enzymes spécialisées qui copient sans correction préalable l'ADN endommagé avec un risque élevé de

faire des erreurs (la "synthèse translésionnelle": TLS). Ce dernier mécanisme génère donc des mutations dans la région endommagée ("réponse mutagène")(<https://www.techno-science.net>).

III.3. Les mécanismes de résistances des bactéries étudiées

III.3.1. *Salmonella*:

salmonella possède plusieurs mécanismes de résistance aux différents facteurs environnementaux défavorables, Parmi ces mécanismes on cite trois types d'antigènes :(Antigène somatique (AgO), Antigène flagellaire(AgH), Antigène de virulence(AgVi) et des déterminants génétiques de virulence dont l'antibiorésistance: (Résistance naturelle, Résistance acquise)(Harizi,2008; Aly,2008).

III.3.1.1. Mécanisme de résistance

Pour se défendre contre les antibiotiques, les bactéries emploient trois grands mécanismes qui ont pour but d'inactiver l'antibiotique sont :(Production d'enzymes, Altération de la cible, Expulsion des antibiotiques) (Harizi,2008; Aly,2008).

III.3.2. *Escherichia coli*

III.3.2.1. Stratégies de survie des bactéries dans l'environnement par biofilm

La formation de biofilm est un processus dynamique qui peut être influencé par des nombreux facteurs environnementaux (Reisner et al., 2006).

de nombreuses souches de *E. coli* ont la capacité à former des biofilms. Pour cette raison, ils ont été étudiés autant dans les souches commensales que les pathogènes, et chez ces dernières, autant dans les InPEC que les ExPEC (Hobley et al., 2015; Laverty et al., 2014; Tremblay et al., 2015).

Étant donné la grande diversité génétique trouvée chez les *E. coli*, les gènes et les structures impliqués dans la formation de biofilms peuvent être différents entre les souches. Dans le cas des STEC, la formation de biofilms dépend plus de la souche que du sérotype(Vogeleer et al., 2014; Vogeleer et al., 2015).

Une des explications possibles est la présence de polymorphismes d'un seul nucléotide (single nucleotide polymorphism ou SNPs), qui mènent à des codons d'arrêt prématurés dans les gènes codant pour les adhésines ou pour RpoS, le facteur sigma en phase stationnaire qui est important pour la formation et la régulation du biofilm (Zhang et al., 2006).

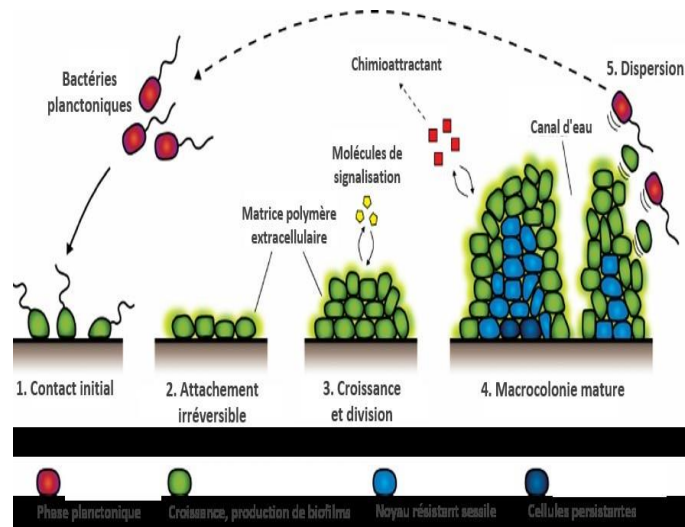


Figure 8.Étapes de la formation de biofilm.

- 1). Adhésion de bactéries planctoniques à une surface.
 - 2). Agrégation et fixation irréversible des bactéries. Production de la matrice extracellulaire. 3). Croissance et division des bactéries sessiles pour la formation de microcolonies.
 - 4). Maturation du biofilm. Diversité phénotypique au sein de la macrocolonie.
 - 5). Dispersion de biofilm. Induction de facteurs de désassemblage et retour à la vie planctonique.
- Modifié de: **(Gilmore, 2011)**.

III.3.3. *Campylobacter*

III.3.3.1. Mécanismes virulence:

Mécanismes de survie et d'infection utilisés par *Campylobacter* pour surmonter les obstacles de l'organisme hôte et de la médiation des maladies chez l'homme sont complexes et ne sont pas entièrement connues, tout ce qui est connu sur ce processus est dû à des études réalisées principalement avec *Campylobacter jejuni*.

Les processus de colonisation et d'infection nécessitent plusieurs facteurs de virulence, parmi lesquels:

III.3.3.1.1. Production de toxines

Parmi les toxines produites par *Campylobacter*, la CDT (cytolethal distending toxin) est la plus étudiée et est retrouvée chez de nombreuses bactéries Gram négatives. Elle comprend 3 sous-unités codées par *cdtA*, *cdtB* et *cdtC* qui sont essentielles à son activité. *CdtA* et *CdtC* permettent la liaison de la toxine aux récepteurs présents sur la surface cellulaire, *CdtB* étant la sous-unité enzymatique active. Cette dernière va pénétrer dans le noyau et induire des cassures

de l'ADN double-brin conduisant à un arrêt du cycle cellulaire en phase G2 et une apoptose par fragmentation du noyau et distension cellulaire. Son rôle est de faciliter la colonisation, d'induire une inflammation intestinale et de résister à la clairance bactérienne de l'hôte (Man, 2011). D'autres toxines existent mais leurs rôles sont moins bien caractérisés.

III.3.3.1. Échappement immunitaire et survie

Le lipooligosaccharide (LOS) présent à la surface de plusieurs espèces de *Campylobacter* intervient aux phases adhésion, d'invasion, est impliqué dans les mécanismes de résistance au sérum et dans l'évasion du système immunitaire de l'hôte. Cet échappement immunitaire est lié, d'une part, à la grande diversité des loci LOS et, d'autre part, à la capacité des bactéries à moduler la structure du LOS par sialylation diminuant ainsi leur immunogénicité et augmentant leur potentiel invasif (Guerry et al., 2000; Louwen et al., 2008). À noter que certains types de LOS mimant les structures gangliosidiques humaines peuvent induire chez l'hôte une réponse auto-immune à l'origine du développement des syndromes de Guillain-Barre et de Miller-Fisher (Kaakoush et al., 2015)

La capsule polysaccharidique trouvée à la surface des *campylobacters* constitue une barrière contre la dessiccation, favorise la formation de biofilm, confère une adhérence aux cellules hôtes et une résistance au sérum humain en limitant l'accès des molécules actives du complément à la membrane bactérienne et en masquant les antigènes bactériens (Karlyshev et al., 2000).

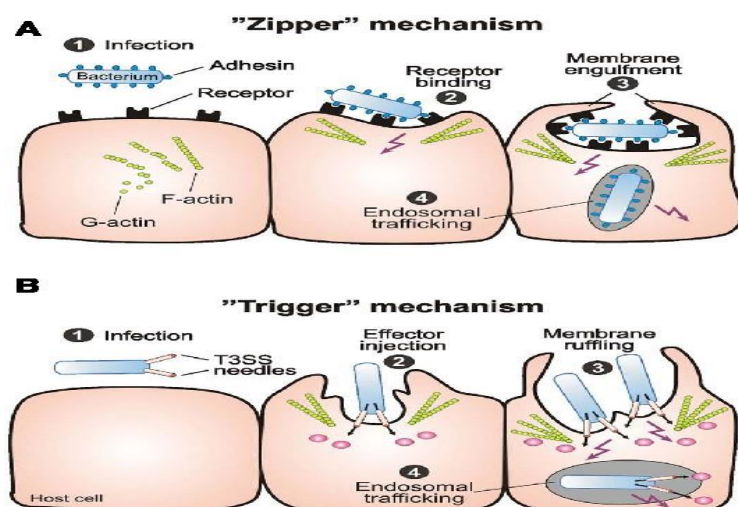


Figure 9. Mécanismes d'invasion des cellules non phago-cyitaires par *campylobacter* (Ó Cróinín et Backert, 2012)

Conclusion et perceptions

Conclusion

L'impact des germes dans les maladies alimentaires n'est plus à démontrer de nos jours, pourtant, des cas de toxi-infection alimentaire se produisent quotidiennement dans tous les pays, dans les plus développés comme dans les moins avancés.

Cette étude a pour objectif principal de comprendre les mécanismes de résistance des bactéries pathogènes dans les produits alimentaires pour essayer d'optimiser leur décontamination. Ces produits alimentaires sont fortement incriminés dans les toxi-infections alimentaires collectives, à cause de leur forte contamination de ces produits. Ces microorganismes sont donc de première importance pour étudier l'inactivation bactérienne dans les produits alimentaires.

La restauration collective est une activité de service de préparations et de consommations alimentaires pour la plupart de la population travaillant pendant la journée. De ce fait, cette activité nécessite des aliments salubres, de bonne qualité nutritive et servis dans de bonnes conditions d'hygiène. La restauration collective doit faire l'objet d'une réglementation stricte visant à respecter l'ensemble des mesures prises par l'établissement pour assurer l'hygiène et la sécurité sanitaire des aliments et éviter la survenue de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC).

L'OMS classe *Salmonelle*, *Campylobacter* et *Escherichia coli* parmi les agents pathogènes d'origine alimentaire les plus courants qui touchent des millions de personnes chaque année et s'accompagnent de conséquences graves, voire mortelles". La bactérie *Campylobacter* est ainsi "considérée, comme la cause bactérienne la plus courante de gastroentérite humaine de par le monde, par l'OMS".

De ce fait, une attention particulière doit être accordée à toutes les causes d'intoxication alimentaire, notamment, pour les produits alimentaires préparés et fabriqués industriellement qui doivent faire l'objet de contrôle microbiologique rigoureux et dont le certificat de conformité doit être présenté à leur réception au niveau des cantines. Par ailleurs, leurs conditions de stockage (température, humidité, lumière, hygiène) et de manipulation (propreté du personnel et des surfaces) doivent impérativement être respectées. Aussi, afin de réduire les contaminations des surfaces et des ustensiles utilisés en restauration collective et d'éviter, par conséquent, des cas d'intoxications alimentaires, des formations de sensibilisation du personnel aux bonnes pratiques d'hygiène, sont fortement recommandées.

Finalement, ce travail nous a permis de mieux comprendre l'inactivation des pathogènes pendant les étapes clés de la production de produits alimentaires. Cette compréhension a également donné des éléments permettant d'optimiser la destruction des pathogènes alimentaires et peut-être, à terme, de développer de nouveaux procédés.

Perspectives

En perspectives, nous espérons que nos travaux théoriques seront complétés par des travaux pratiques, où on pourra détecter, isoler ces bactéries pathogènes alimentaires responsables des TIAC, et étudier différents mécanismes d'adaptation de ces bactéries aux stress environnementaux.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Afssa, (2008). Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animale. [En ligne] Accès internet: [http://www.anses.fr/Documents/SANT-Ra Methode Risque. pdf](http://www.anses.fr/Documents/SANT-Ra_Methode_Risque.pdf) page consultée le 18/02/2014.

Akloul K. (2019) . Physiologie microbienne. Département des sciences vétérinaires. Université Saad Dahlab, Blida

Allos, B.M., Moore, M.R., Griffin, P.M., & Taux, R.V. (2004). disease in the 21st century: the food Net perspective. *Clinical Infectious Diseases*, 38 (Supplement-3), S115-S120.

Aly M. (2018) . Surveillance de la résistance aux antimicrobiens des souches de *Salmonella* isolées au laboratoire Rodolphe Mérieux de 2015 à 2017 à Bamako au Mali. Thèse Phar Fa PH, Bamako 2018, 187p.

Anonyme, cours de bactériologie 2ème année

Barka .(2012) . Recherche et caractérisation d'*Escherichia coli* entérohémorragique O157 :H7 dans les viandes bovines importées en Algérie

Borges (2013-2014). Sécurité sanitaire des aliments. Université de lorraine.

Breuer T, Benkel DH, Shapiro RL, Hall WN, Winnett MM, Linn MJ, Neimann J, Barrett TJ, Dietrich S, Downes FP, Toney DM. A. (2001). multistate outbreak of *Escherichia coli* O157: H7 infections linked to alfalfa sprouts grown from contaminated seeds. *Emerging infectious diseases* Nov; 7(6):977-82.

Buisson, Y. et Teyssou, R., (2002). La sécurité Sanitaire des aliments d'origine animale: Les Toxi-infections Alimentaires Collectives. *Revue Française des Laboratoires*, vol 2002, n°348 (décembre 2002). pp. 61-66.

Cohen N et H Karib, (2006). Risque hygiénique lié à la présence des *Escherichia coli* dans les viandes et les produits carnés: Un réel problème de santé publique?- les technologies de laboratoire -n°1.

Costerton, J.W., Stewart, P.S., Greenberg, E.P., (1999). Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science* 284, 1318-1322.

D'Aoust, I-Y., *Salmonella* and the international food trade. *International Journal of Food Microbiology*, (1994).24(1-2): p. 11-31.

DGSAIA, et MAPAQ (2012), Bilan annuel 2009-2010: Toxi-infections alimentaires.

Diallo M. L. (2010). Contribution à l'étude de la qualité bactériologique des repas servis par Dakar Catering selon les critères du groupe SERVVAIR Thèse : Méd. Vét. : Dakar ; 7.

Djossou F., Martrenchar A., Malvy D. (2010) Infections et toxi-infections d'origine alimentaire et hydrique. Orientation diagnostique et conduite à tenir. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris). *Maladies Infectieuses.*; (8-003-A-82).

Do O'Gomes I. (2022) : Qu'est-ce que la bactérie *Escherichia coli* et quelles maladies provoque-t-elle ? *Science et avenir*.

EFSA and ECDC (European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control), (2019). The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal* 2019;17(12):5926, 276 pp.

Fleming A. (2014) : Toxi-infections alimentaires (tiac) en région Rhône-Alpes : bilan et analyse des causes. Gestion opérationnelle d'une suspicion de tiac par une direction départementale de la (cohésion sociale et de la) protection des populations: exemple dans le département de la Loire. Thèse de doctorat. Université Claude-Bernard, Lyon I. pp 25.

Guerry P., Ewing CP., Hickey TE., Prendergast MM., Moran AP.(2000). Sialylation of lipo-oligosaccharide cores affects immunogenicity and serum resistance of *Campylobacter jejuni*. *Infect. Immun.*, 68:6656-6662.

Guy Leyral-Elisabeth Vieerling (1996) : Microbiologie et toxicologie des aliments. Hygiène et sécurité alimentaires.. Biosciences et techniques. Doin éditeurs.

Haghebert S, Duché L, Masini B, Dubreuil M, Bouvet P, Grimont F & al. Épidémie de salmonellose à *Salmonella Typhimurium* dans des institutions médico-sociales (IMS). Alpes de Haute Provence, septembre-décembre 1999. Abstracts des Journées nationales d'infectiologie. *Méd Mal Infect.* (2000); 30: 353-ST02-06.

Hall-Stoodley, L., Stoodley, P., (2009). Evolving concepts in biofilm infections. *Cell Microbiol* 11, 1034-1043.

Harizi K.,(2008). Recherche et identification des bactéries pathogènes *Salmonella* et *Listeria* dans les aliments. Université de Gabés; disponible sur: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/056/42056534.pdf.

Hobley, L., Harkins, C., MacPhee, C.E., Stanley-Wall, N.R.(2015). Giving structure to the biofilm matrix: an overview of individual strategies and emerging common themes. *FEMS Microbiol. J Rev.* 39,649-669.

Jabrane, T., R. Voss, M. Dubé, and P. 1 Mangin, Report /rom bio-printing experiments, in Bio-printing Workshop, Sun Chemicals. (2008): Carlstadt (NJ) (Etats-Unis).

Jacques, M., Aragon, V., Tremblay, Y.D., (2010). Biofilm formation in bacterial pathogens of veterinary importance. *Animal Health Research Reviews* 11, 97-12.

Kaakoush NO., Castaño-Rodríguez N., Mitchell HM., Man SM. (2015). Global epidemiology of *Campylobacter* infection. *Clin. Microbiol. Rev.*, 28: 687-720.)

Karlyshev AV., Linton D., Gregson NA., Lastovica AJ., Wren BW. (2000). Genetic and biochemical evidence of a *Campylobacter jejuni* serotype specificity. capsular polysaccharide that accounts for Penner *Mol. Microbiol.*, 35: 529.

Khernane I, Madhkour I, Boussof N, Nezzal L, Zoughailech D (2013). Epidémie de botulisme : état des lieux à l'Est Algérien.(1998); *JAM*, XXI, 02 Mars/Avril.

Lagier JC.(2017): Infections intestinales virales et bactériennes. *EMC-Traité de Médecine Akos.* ;12(1):1-5 [Article 4-0551.

Laverty,G.,Gorman,S.P.,Gilmore,B.F.(2014).Biomolecular Mechanisms of *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* Biofilm Formation.*Pathogens* 3,596-632.

Le Jour D'Algérie. Dimanche 12 août 2018 n°:4551.

Leclerc H., R. Buttiaux, J. Guillaume, P. Watre, (1977) : Microbiologie appliquée. Doin éditeurs.

Louwen R., Heikema A., van Belkum A., Ott A., Gilbert M., Ang W. (2008). The sialylated lipo-oligosaccharide outer core in *Campylobacter jejuni* is an important determinant for epithelial. *Infect Immun.*,76:4431 - 4438.

Madhkour I, Lahiouel H, Hamada I ,Nezzal L, Zoughailech D. (2013). Epidémiologie des TIAC, Algérie 2005-2009. JAM; XXI, 02 Mars/vril

Madigan M, Martinko J (2007), Biologie des micro-organismes (Chapitres 2, 21), Pearson Education. 031014296 (DOC Internet).

Malvy D (2011). Infections et toxi-infections d'origine alimentaire et hydrique. Orientation diagnostique et conduite à tenir. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris). Pathologie Professionnelle et de l'Environnement; 16-087-A-10.

Man SM. (2011). The clinical importance of emerging *Campylobacter* species. Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol., 12: 669-685.

Mangin, P.J., T. Jabrane, C. Mercier, and D. Mathou, (2007): Coating and Novel Application Methods, in 4th Sentinel Network Meeting.: Edmonton (AB).

Mead, P.S., Laurence Slutsker, Vance Dietz, Linda F. McCaig, Joseph S. Bresee, Craig Shapiro, Patricia M. Griffin, and Robert V. Tauxe, Food-Related illness and Death in the United States. Emerg. Infect. Dis., (1999). 5(5): p. 607-625.

Moons, P., Michiels, C.W., Aertsen, A.,(2009). Bacterial interactions in biofilms. Critical reviews in microbiology 35, 157-168.

Ó Cróinín T., Backert S. (2012) .Host epithelial cell invasion by *Campylobacter jejuni*: Trigger or zipper mechanism? Front. Cell Infect. Microbiol., 2:25.

OMS .(2018) . Bactérie E. Coli.

OMS .(2018) .Rapport Alerte sanitaire et TIAC 12 Août.

OMS .(2020). Rapport annuel sur *Campylobacter*

Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2002). Statistiques sur les maladies d'origine alimentaire en Europe risques microbiologiques et chimiques. Conférence paneuropéenne FAO/OMS sur la salubrité et la qualité des aliments Budapest (Hongrie), 25-28 FEVRIER 2002. PEC 01/04 (rev. 1), 16 p.

Prescott, L.M. ; Harley J.HP., , (2003) : Microbiologie. Editions DE Boeck & Larcier Université. Pour la traduction et l'adaptation française.

Rapport OMS(2018). Alerte sanitaire et TIAC 12 Août .

Ray Marie-Celine.(2020).Entérobactérie-Santé.

Reisner, A., Krogfelt, K.A., Klein, B.M., Zechner, E.L., Molin, S.,(2006). In vitro biofilm formation of commensal and pathogenic *Escherichia coli* strains :impactof environmental and genetic factors. J Bacteriol 188,3572-3581.

Santé magazine(2022) : La salmonellose : quels sont les symptômes de cette infection ?

Tremblay,Y.D.,Vogeleer,P.,Jacques,M.,Harel,J.(2015).High-throughputmicrofluidicmethodtostudy biofilm formation and host-pathogen interactions in pathogenic *Escherichia coli*. Appl EnvironMicrobiol81,2827-2840.

Vaccari, L., Molaei, M., Niepa, T.H.R., Lee, D., Leheny, R.L., Stebe, K.J., (2017). Films of bacteria at interfaces. AdvColloid Interface Sci 247, 561-572.

Vogeleer, P., Tremblay, Y.D., Mafu, A.A., Jacques, M., Harel, J., (2014). Life on the outside: role of biofilms in environmental persistence of Shiga-toxin producing *Escherichia coli*. *FrontMicrobiol*5,317.

Vogeleer, P., Tremblay, Y.D.N., Jubelin, G., Jacques, M., Harel, J.(2015). Biofilm-Forming Abilities of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* Isolates Associated with Human Infections. *Appl Environ Microbio* 182,1448-1458.

Zhang, W., Qi, W., Albert, T.J., Motiwala, A.S., Alland, D., Hyytia-Trees, E.K., Ribot, E.M., Fields,P.I.,Whittam, T.S., Swaminathan, B.(2006). Probing genomic diversity and evolution of *Escherichia coli* O157 by single nucleotide polymorphisms. *Genome research* 16, 757-767.

Site web:

<http://www.observ.be/article/6370>): la date limite de consommation de mon pot de mayonnaise est d%C3%A9pass%C3%A9e: poubelle. html.

biotechno.fr/Facteurs-de-multiplication-des.htm

<https://www.blv.admin.ch/blv/fr/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/krankheitserreger-und-hygiene/bakterien.html>

<http://www.who.int/vaccine-research/diseases/diarrhoeal/en/index7.html>.

www.nexidia.fr

<http://www.biologiemarine.com>

https://www.researchgate.net/figure/1-Vitesse-de-deterioration-des-aliments-en-fonction-de-lactivite-de-leau-Labuza_fig1_38320544

https://www.sciencesetavenir.fr/sante/qu-est-ce-que-la-bacterie-escherichia-coli_163242

<https://studylibfr.com/doc/947964/document-1--origine-des-micro-organismes-dans-les-aliments>

www.efsa.europa.eu

www.aquaportail.com