

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire



Domaine : Sciences de la nature et
de la vie Filière : Sciences
vétérinaires

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de
Docteur En

Médecine vétérinaire

THEME

**Synthèse bibliographique sur les dangers
microbiologiques des viandes rouges et
blanches**

Présenté par : Melle BOUMEZRAG Leila Selsabil

Soutenu publiquement, le : 27-10-2021

Devant le jury :

M. GOUCEM R.

Maître Assistant A (ENSV)

Président

Mme BOUHAMED R.

Maître de Conférences B (ENSV)

Promotrice

M. HAMDI T.M.

Professeur (ENSV)

Examinateur

Année universitaire 2020-2021

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le Tout Puissant et le Miséricordieux, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme mes études.

J'aimerai tout d'abord remercier ma promotrice Madame BOUHAMED Radia d'avoir accepté de diriger ce travail. Son soutien, sa clairvoyance et ses compétences m'ont été d'une aide inestimable. Sa disponibilité, sa gentillesse et ses précieuses directives tout au long de la réalisation de ce travail m'ont beaucoup impressionnées.

Qu'elle puisse trouver dans ces mots le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

Mes vifs remerciements vont aux membres du jury:

Je remercie Dr. GOUCEM Rachid d'avoir accepté de présider ce jury. Ses conseils et ses remarques contribueront certainement à améliorer la qualité de ce travail.

Je remercie Pr. HAMDI Taha Mossadak d'avoir accepté de participer à ce jury.

Je le remercie également pour le temps et la disponibilité accordés afin d'examiner ce travail. Ses conseils et ses remarques contribueront certainement à améliorer la qualité de ce travail.

Je tiens à remercier également tous les enseignants qui ont participé à l'accomplissement du cursus pédagogique de la médecine vétérinaire.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à l'ingénieure de laboratoire

« Madame Boudjelal Louiza » pour son aide et ses encouragements.

Je tiens également à exprimer ma gratitude et mes vifs remerciements à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, ainsi qu'à tous les amis et collègues.

Dédicaces

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur

Qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime Et qu'on remercie en exprimant La gratitude Et la reconnaissance durant toute notre existence.

Je dédie ce modeste travail

*D'abord à mes Parents (**Abdelkarim et Djohra**), sans qui, je n'en serais pas là aujourd'hui. Merci pour tout leur amour et leur soutien depuis toujours. Ils ont su me donner toutes les chances pour réussir. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de ma plus affectueuse gratitude.*

*À ma grand-mère (**Khadidja**) tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de nos encourager et de prier pour moi.*

*À ma sœur (**Hadil**) mon seul ange, je te souhaite plein succès dans ta vie*

À ma famille et mes proches qui m'ont fourni l'ambiance dans ma vie, la joie et la paix.

*Un grand merci à (**Walid et Chahrazed**) qui depuis des années partagent ma vie, mes doutes et mes joies. Je les remercie de leur présence à mes côtés dans les bons comme dans les moments plus difficiles, leurs encouragements, leurs compréhensions et, tout simplement leur amour.*

*A mes amies **Aya**, **Sanna**, **kamelia**, **Roza**, **Nesrine**, **Ikhlass**, **Romaissa**, j'ai passé grâce à vous des moments agréables pendant tout mon cursus scolaire, je vous remercie également pour votre soutien et votre patience avec moi.*

A tous mes chers amis et à tous les étudiants de l'école nationale supérieure vétérinaire et spécialement de ma promotion.

Leila Selsabil

Liste des abréviations

ADH : arginine dihydrolase

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

Ag : antigène

AGMI : acides gras mono-insaturés

AGPI : acides gras poly-insaturés

AGs : acides gras saturés

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail

Aw : water activité (activité de l'eau)

AWWA : American water works association (association américaine des ouvrages hydrauliques)

CEAEQ : Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

CEE : communauté économique européenne

CTT : coliformes thermotolérants

DFD : dark = foncé, firm = ferme, dry= sèche

EaggEC : Enteroaggregative *Escherichia coli*

ECHE : *Escherichia coli* entérohémorragique

EHEC : Enterohemorrhagic *Escherichia coli*

EIEC : Enteroinvasive *Escherichia coli*

EPEC : Enteropathogenic *Escherichia coli*

ETEC : Enterotoxigenic *Escherichia coli*

FRI : Food Research Institute

HR : humidité relative

INVS : Institut de Veille Sanitaire

ISO : Organisation internationale de normalisation

LDC : lysine décarboxylase

MOA : maladie d'origine alimentaire

NC : non connu

ODC : ornithine décarboxylase

OMS : organisation mondiale de la santé

WHO : World Health Organization

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Teneur en eau et protéines de viande de poulet en g/100 g de muscle	3
2	Composition en lipides, acides gras et cholestérol de la viande de poulet	3
3	Valeurs nutritionnelles des viandes rouges : bœuf, agneau, cheval, pour 100 g	4
4	Principales pathologies chez l'homme dues à <i>E. coli</i> (infections nosocomiales exclues)	24

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Transformation du muscle en viande	8
Figure 2	Courbes de croissances de microorganismes psychrophiles, mésophiles et thermophiles selon la température	13

RÉSUMÉ

La viande est le produit de transformation du muscle après la mort de l'animal. Elle est traditionnellement considérée comme le véhicule de nombreuses maladies d'origine alimentaire chez l'homme à cause des défauts d'hygiène. C'est une denrée alimentaire hautement périssable et dont la qualité hygiénique dépend, d'une part de la contamination pendant les opérations d'abattage et de découpe et d'autre part, du développement et de la croissance des flores contaminantes pendant le refroidissement, le stockage et la distribution.

Cette étude a pour objectifs de :

- Définir la qualité de la viande rouge et blanche,
- Décrire les différentes flores de contamination des viandes,
- Étudier les différents types des microorganismes d'altérations des viandes.

Mots clés : Viande, qualité, flore de contamination, microorganismes, altérations.

Abstract

Meat is the transformation product of muscle after the animal's death. It has traditionally been seen as the vehicle for many foodborne illnesses in humans due to poor hygiene. It is a highly perishable foodstuff whose hygienic quality depends on the one hand on contamination during slaughtering and cutting operations and on the other hand on the development and growth of contaminating flora during cooling, storage and distribution.

The objectives of this study are to:

- Define the quality of red and white meat,
- Describe the different flora of meat contamination,
- Study the different types of microorganisms affecting meat.

Key words: Meat, quality, contamination flora, microorganisms, alteration.

ملخص :

اللحوم هي نتاج تحوّل العضلات بعد موت الحيوان. يُنظر إليها تقليديًا على أنها وسيلة للعديد من الأمراض المنقولة عن طريق الأغذية لدى البشر بسبب قلة النظافة وهي مادة غذائية قابلة للتلف بدرجة كبيرة وتعتمد جودتها الصحية جزئيًا على التلوث أثناء عمليات الذبح والتقطيع وجزئيًا على التطوير والتوزيع. تهدف هذه الدراسة إلى:

- تحديد جودة اللونين الأحمر والأبيض عن طريق.
 - وصف النباتات المختلفة لتلوث اللحوم .
 - دراسة الأنواع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة التي تؤثر على اللحم.
- الكلمات المفتاحية:** اللحم ، الجودة ، تلوث النباتات ، الكائنات الحية الدقيقة ، التلف.

SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION</i>	1
Chapitre I : Généralités sur les viandes	2
I. Définitions.....	2
I.1. Définition de la viande	2
I.2. Quelques définitions utiles	2
II. Filière viande volaille	2
II.1. Définition de la filière viande volaille.....	2
II.2. Valeurs nutritionnelles de la viande de volaille	3
III. Filière viande rouge	4
III.1. Définition de la filière viande rouge	4
IV. Evolution de la viande après l'abattage.....	5
IV.1. Etat vivant.....	5
IV.2. Phase d'excitabilité musculaire ou état pantelant.....	5
IV.3. Phase de rigor mortis ou rigidité musculaire	6
IV.4. Phase de la maturation ou état rassis de la viande	6
IV.4.1 Modifications perceptibles	6
IV.4.2. Mécanismes.....	7
V. Microbiologie de la viande	8
V.1. Contamination des viandes	8
V. 2. Origine de la contamination des carcasses.....	9
V. 2.1. Origine endogène	9
V.2.1.1. Flore du tube digestif.....	9
V.2.1.2. Flore du cuir.....	9
V. 2.1.3. Flore des voies respiratoires	10
V.2.2. Origine exogène	10
V.2.2.1. Contamination à partir du personnel.....	10
V. 2.2.2. Infrastructures et équipements	10
V.2.2.3. Milieu.....	10
V.2. Multiplication de la Microflore initiale.....	11
V.2.1. Activité de l'eau (A_w).....	11
V.2.2. pH	11
V.2.3. Potentiel d'oxydo-réduction (r_h)	12
V.2.4. Effet de la température	12
Chapitre II : Microorganismes d'altérations et de toxi-infections alimentaires.....	15

I. Introduction	15
II.Types de micro-organismes	15
II.1. Bactéries	15
II.2. Champignons.....	15
II.3. Virus	16
III. Microorganismes d’altérations et de toxi-infections alimentaires.....	17
III.1.Flore aérobie mésophile totale	17
III.1.1. Définition	17
III.1.2. Importance de l’étude de la flore totale.....	17
III.2. Coliformes.....	17
III.2.1. Coliformes Totaux.....	18
III.2.1.1. Généralités	18
III.2.1.2. Bactériologie.....	18
III.2.2. Coliformes thermotolérants	19
III.2.2.1. Généralités	19
III.2.2.2. Bactériologie.....	20
IV. Entérobactéries	21
IV.1. <i>Escherichia Coli</i>	21
IV.1.1. Généralités	21
IV.1.2. Caractères bactériologiques	21
IV.1.3. Caractères antigéniques.....	22
IV.1.4. Habitat	23
IV.1.5. Pouvoir pathogène chez l’homme	23
IV.2. <i>Salmonella</i>	24
IV.2.1. Définition normalisée de <i>Salmonella</i> (règlement n 2073 /2005 modifié).....	24
IV.2.2. Caractères bactériologiques	25
IV.2.3. Caractères antigéniques.....	25
IV.2.4. Habitat	26
IV.2.5. Gamme de doses infectieuse de <i>Salmonella</i>	27
IV.2.6. Risque de Salmonelloses.....	27
IV.2.6.1. Fréquence des accidents alimentaires salmonelliques.....	27
IV.2.6.2. Formes épidémiologiques des salmonelloses.....	28
IV.2.6.3. Aliments responsables des accidents alimentaires salmonelliques	28
<i>Conclusion</i>	29
<i>Références bibliographiques</i>	30

INTRODUCTION

Une denrée représente « toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain » (règlement (CE) 178/2002). Selon l'organisation mondiale de la santé animale, la viande désigne toutes les parties comestibles d'un animal et considère le mot « animal », dans ce contexte « tout mammifère ou oiseau ». Dans ce vocabulaire sont incluses la chair des mammifères (ovin, bovin, caprin, camelin...), des oiseaux (poulet, dinde, pintade ...) et celle des poissons (Fosse, 2003 ; El-Ramouz, 2008).

En Algérie, selon la Commission Nationale des Ressources Génétiques Animales (2003), l'étude des systèmes de production s'est essentiellement limitée au bovin, à l'ovin ainsi qu'à l'aviculture industrielle, et à un moindre degré, au caprin et à l'apiculture. La production de viandes rouges est passée de 76.000 tonnes en 1968 à 310.000 tonnes en 1999, soit une progression de près de 5% en moyenne par an, pour une consommation moyenne de viandes rouges de 10 kg/habitant/an. Selon ce même rapport, la production de viandes blanches a connu une progression conséquente passant de 24.000 tonnes en 1968 à 200.000 tonnes en 1999, permettant d'atteindre une consommation moyenne de 9 kg/an/habitant en 1995.

La microflore des viandes est composée essentiellement de microorganismes saprophytes. La contamination par les microorganismes pathogènes n'apparaît que rarement (Cartier, 2007). La consommation de denrées contaminées par un agent dangereux (danger) peut induire un effet néfaste chez l'homme, aujourd'hui appelé maladie d'origine alimentaire (MOA) (Lammerding et Fazil, 2000 ; OMS 2007). Les aliments impropres à la consommation contenant des bactéries, des virus, des parasites ou des substances chimiques nocives provoquent plus de 200 maladies, allant de la diarrhée au cancer (OMS, 2020). On recense chaque année 600 millions de cas de maladies d'origine alimentaire. En 2010, 420 000 personnes sont mortes à cause de maladies comme les infections à salmonelles et à *E. coli*, dont un tiers d'enfants de moins de cinq ans. On estime que ce chiffre augmente d'année en année, mais il est difficile de se faire une idée précise de l'impact réel des maladies d'origine alimentaire dans le monde (OMS, 2021). D'autre part, les aliments insalubres représentent un manque à gagner d'environ 110 milliards de dollars É.-U. par an pour les pays à revenu faible et intermédiaire, du fait des pertes de productivité et des dépenses de santé qui en découlent (OMS, 2020).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude bibliographique comprenant un premier chapitre décrivant des généralités sur les viandes rouges et blanches, et un deuxième chapitre sur les microorganismes d'altérations et de toxi-infections alimentaires.

Chapitre I : Généralités sur les viandes

I. Définitions

I.1. Définition de la viande

Conformément aux dispositions de la Directive CEE n 64/433, la viande représente toutes parties propres à la consommation humaine d'animaux domestiques des espèces bovine (y compris les espèces *Bubalus bubalis* et *Bison bison*), porcine, ovine et caprine, ainsi que de solipèdes domestiques.

Le Codex Alimentarius définit la viande comme étant toutes les parties d'un animal qui sont destinées à la consommation humaine ou ont été jugées saines et propres à cette fin (Anonyme, 2021).

I.2. Quelques définitions utiles

Ci-dessous quelques définitions utiles (Anonyme, 2021) :

- Produits carnés : ce sont les viandes de boucherie et produits tripiers, charcuteries, volailles et gibiers.
- Viandes de boucherie ou viandes hors volaille : ce sont les viandes de bœuf, de porc, de veau, d'agneau, de chevreau et viande chevaline.
- Produits tripiers : représentent tout ce qui n'est pas rattaché à la carcasse en fin de chaîne d'abattage. Ce sont les abats (cœur, foie, rognons, trippes, etc.), la langue, la queue et certains muscles (joue, hampe, onglet).

II. Filière viande volaille

II.1. Définition de la filière viande volaille

La viande de volaille regroupe toutes les parties comestibles des volailles et du lapin.

La couleur de la chair permet également de les classer en :

- Volailles à chair blanche (poules et coqs, chapons, dindes) ;
- Volailles à chair brune (canards, oies, pintades, pigeons, cailles) ;
- Volailles à chair rose (lapins d'élevage) ;
- Gibiers dit à chair noire (venaison, lièvre, gibiers à plumes) (Anonyme, 2017).

II.2. Valeurs nutritionnelles de la viande de volaille

De nos jours, la société est de plus en plus sensible à la composition des produits alimentaires et à leurs valeurs nutritionnelles. La viande n'échappant pas à ce phénomène, les consommateurs sont en attente d'informations claires, démonstratives et détaillées qui les rassurent sur les atouts " santé " de celle-ci. Dans ce contexte, la filière a souhaité développer des messages positifs autour de la viande de volaille. Chaque espèce a ses propres spécificités concernant sa composition nutritionnelle, qui peut alors varier selon le muscle considéré, l'espèce elle-même ou encore l'auteur. En général, les viandes de volailles sont riches en eau (environ 75%) et en protéines (20 à 22%) pour une teneur en lipides assez faible (2%), ce qui les classe parmi les viandes peu grasses. De plus ces viandes ont une quantité intéressante d'acides gras insaturés (plus de 60%) (tableaux 1 et 2) (Brunel *et al.*, 2010).

Tableau 1 : Teneur en eau et protéines de viande de poulet en g/100 g de muscle (Rabot, 1998).

	FILET			CUISSÉ		
	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
Eau (g)	71,5	74,7	78,4	70,8	74,2	77,4
Protéines(g)	18,6	22,3	26,2	8,8	18,4	21,3

Min : minimum ; Max : maximum

Tableau 2 : Composition en lipides, acides gras et cholestérol de la viande de poulet (Rabot, 1998).

	FILET			CUISSÉ		
	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
Lipides(g)	1,25	1,33	1,44	2,75	3,9	4,5
AGS Totaux (%)	29,4	34,7	39,9	31,1	32,5	33,90
AGMI Totaux (%)	35,3	38	40,6	38,07	39,94	41,8
AGPI Totaux (%)	27,2	28,6	30,0	27,1	27,56	28,03
AGI Totaux (%)	62,5	66,5	70,6	66,1	67,5	68,9
Polyinsaturés/Saturés	-	0,61	-	-	-	-
Cholestérol (mg)	-	50	-	-	90	-

III. Filière viande rouge

III.1. Définition de la filière viande rouge

Les scientifiques tout comme les agences sanitaires incluent dans la viande rouge toutes les viandes à l'exception des volailles. La viande rouge fait référence à tous les types de viande issus des tissus musculaires de mammifères comme le bœuf, le veau, le porc, l'agneau, le mouton, le cheval et la chèvre (tableau 3).

Éléments nutritifs	Bœuf	Agneau	Cheval
	(faux filet)	(gigot)	(faux filet)
Protéines (g/100 g)	21,6	23,8	22,2
Glucides (g/100 g)	Traces	Traces	Traces
Lipides (g/100 g), dont :	3,37	10,9	3,58
• acides gras saturés (g/100 g)	- 1,55	- 5,54	- 1,17
• acides gras mono insaturés (g/100 g)	- 1,54	- 4	- 1,17
• acides gras polyinsaturés (g/100 g)	- 0,153	- 0,956	- 0,642
Cholestérol (mg/100 g)	58	97,6	-
Sodium (mg/100 g)	62,5	159	Nc
Fer (mg/100 g)	2,26	2,1	2,55
Zinc (mg/100 g)	3,26	3,17	1,91
Vitamine B3 ou PP (mg / 100 g)	5,77	8,02	5,6
Vitamine B6 (mg / 100 g)	0,479	0,372	0,664
Vitamine B9 (µg/100 g)	9,6	Nc	Nc
Vitamine B12 (µg/100 g)	1,19	3,05	1,51
Énergie (kcal/100 g)	117	193	121
Énergie (KJ/100g)	492	808	510

IV. Evolution de la viande après l'abattage

Après la mort, le muscle est le siège des transformations qui conditionnent largement les qualités finales de la viande dont l'évolution passe par trois phases :

- Phase de pantelance ;
- Phase de rigidité cadavérique ;
- Phase de maturation (Coibion, 2008).

Lors de la conservation de la viande à l'état réfrigéré, la tendreté est certainement la qualité qui évolue le plus, car après l'abattage le muscle commence par durcir puis la dureté est réduite de 80% au cours de la maturation dont la durée peut atteindre plusieurs jours.

On peut considérer qu'au cours de sa transformation en viande, le muscle passe successivement par différents états (Ouali , 1991).

IV.1. Etat vivant

A l'état vivant, le muscle correspond à un terme anatomique définissant une partie précise d'un organisme. Il est composé de cellules hautement différenciées, son pH est voisin de 7 et plus la fibre musculaire contient de l'eau liée aux protéines plus elle est gonflée (Coibion , 2008).

IV.2. Phase d'excitabilité musculaire ou état pantelant

Cette étape suit la mise à mort de l'animal. Les fibres musculaires sont animées de mouvements de contractions spontanées désordonnées visibles au niveau des muscles de la tête et différents muscles superficiels. Les muscles sont mobilisables, mous, flasques, extensibles et le signe de la poignée de main de l'inspecteur est positif (c'est un signe qui consiste à mobiliser le membre antérieur contre la cage thoracique). La surface de la carcasse est humide, mais la section du muscle est sèche car le pouvoir de rétention en eau est élevé. Le pH du muscle est de 6.8 à 7.2. La durée de cette phase est de 3 à 4 heures (à 10°C) chez les ruminants, elle dépend d'un certain nombre de facteurs : de l'espèce animale, de sa réserve énergétique, de la température ambiante et des phénomènes anormaux ou pathologiques (très courte dans les viandes surmenées par exemple). Juste après l'abattage (à l'état pantelant), 10% de l'eau est fixée directement aux protéines (cette eau ne se cristallise pas à la congélation), 80% est située dans des espaces entre les filaments myofibrillaires, et 5 à 10% de l'eau est extracellulaire. Cet équilibre mène à dire que le pouvoir de rétention en

eau est élevé. Le pouvoir de rétention en eau est la capacité de la viande à retenir l'eau dans les espaces entre les myofibrilles. Il est influencé surtout par le resserrement latéral ou longitudinal des filaments d'actine et de myosine qui chasse l'eau dans l'espace extracellulaire ; si les fragments myofibrillaires s'écartent, le pouvoir de rétention est plus élevé ; par contre, s'il y a attraction à tous les niveaux, le pouvoir de rétention diminue (Bensid, 2018).

IV.3. Phase de rigor mortis ou rigidité musculaire

La phase de la rigidité cadavérique est comprise entre les 10 et 48 heures qui suivent la saignée. Le muscle devient progressivement raide et inextensible. La rigidité cadavérique est le résultat de la liaison irréversible entre la myosine et l'actine, avec la diminution de la teneur en ATP car la vitesse de sa production devient inférieure à celle de son hydrolyse due au manque d'oxygène au niveau du muscle provoqué par l'arrêt de la circulation sanguine (Coibion, 2008).

IV.4. Phase de la maturation ou état rassis de la viande

La phase maturation est la phase d'évolution post-mortem survenant après l'installation de la rigidité cadavérique (Shackelford et al., 1991 ; Coibion, 2008). C'est un ensemble de transformations que subit la viande au cours de sa conservation après la disparition du rigor mortis et avant l'apparition de la putréfaction (Craplet, 1966).

IV.4.1 Modifications perceptibles

Les masses musculaires deviennent molles, souples, dépressibles, le muscle devient tendre et le signe de la poignée de main de l'inspecteur devient positif. Le pouvoir de rétention augmente légèrement mais la viande est juteuse, succulente et une petite quantité de sérosité rosée exsude spontanément (myoglobine et exsudat). Sur une surface de coupe, la couleur de la viande paraît sombre. La durée de la phase de maturation dépend de plusieurs facteurs notamment la température puisqu'il s'agit d'un phénomène purement biochimique dont les enzymes sont responsables. Chez les bovins, la viande est mûre (tendreté maximale) en : 3 semaines à 0 °C, 2 semaines à +2 °C, 10 jours à +4 °C, 8 jours à +6 °C, et 3 à 4 jours à +15°C. Il faut dix jours de réfrigération à 1 °C pour que la viande atteigne 80% de sa tendreté maximale chez les bovins, et sept jours chez les ovins (Bensid, 2018).

IV.4.2. Mécanismes

Lors de la maturation, le muscle est relaxé après la résolution de la rigor mortis. Cette relaxation n'est pas due au glissement des myofibrilles, mais c'est la viande qui est en partie digérée par des enzymes (calpaïnes), surtout par solubilisation des lignes de striation Z dans les sarcomères. La disparition de la réserve énergétique du muscle, ainsi que l'acidification du milieu durant la rigor mortis placent les différentes fractions protéiques dans des conditions favorables à leur dénaturation. Cette dénaturation peut se traduire par des modifications de la solubilité et une augmentation de la sensibilité aux enzymes protéiques. Le mécanisme de la maturation est surtout enzymatique. Après la saignée, les enzymes protéolytiques présentes naturellement dans le muscle sont actives : cathepsine et calpaïne. Les cathepsines sont trouvées dans les lysosomes du sarcoplasme. Pendant la rigor mortis, les cathepsines sont libérées à la suite de la diminution de la valeur du pH qui détruit les lysosomes. Elles ont une activité maximale dans des conditions légèrement acides, à un pH autour de 5.4 à 5.9, et des températures de conservation élevées. Elles dégradent quelques protéines musculaires (tryponine T), et ont une action très lente sur les liens entre l'actine et la myosine, sur le collagène, et enfin sur les mucopolysaccharides qui sont les liens de la substance fondamentale du tissu conjonctif. Les calpaïnes sont activées par les ions de calcium et ont une activité maximale dans des conditions neutres à alcalines. Elles sont situées dans la région des lignes de striation Z ; du vivant de l'animal, elles sont inhibées par la calpastatine qui réduit la protéolyse dans les muscles. L'activité des calpaïnes est favorisée par des niveaux plus élevés de calcium, de pH (6.2 à 7) et de température, et par l'activité réduite de la calpastatine. Elles entraînent une destruction (coupure) de la structure des lignes de striation Z et dégradent les protéines en peptones avec libération d'arômes qui confèrent à la viande ses caractères normaux et son goût (Bensid , 2018).

La figure 1 schématise les différentes étapes de transformation du muscle en viande.

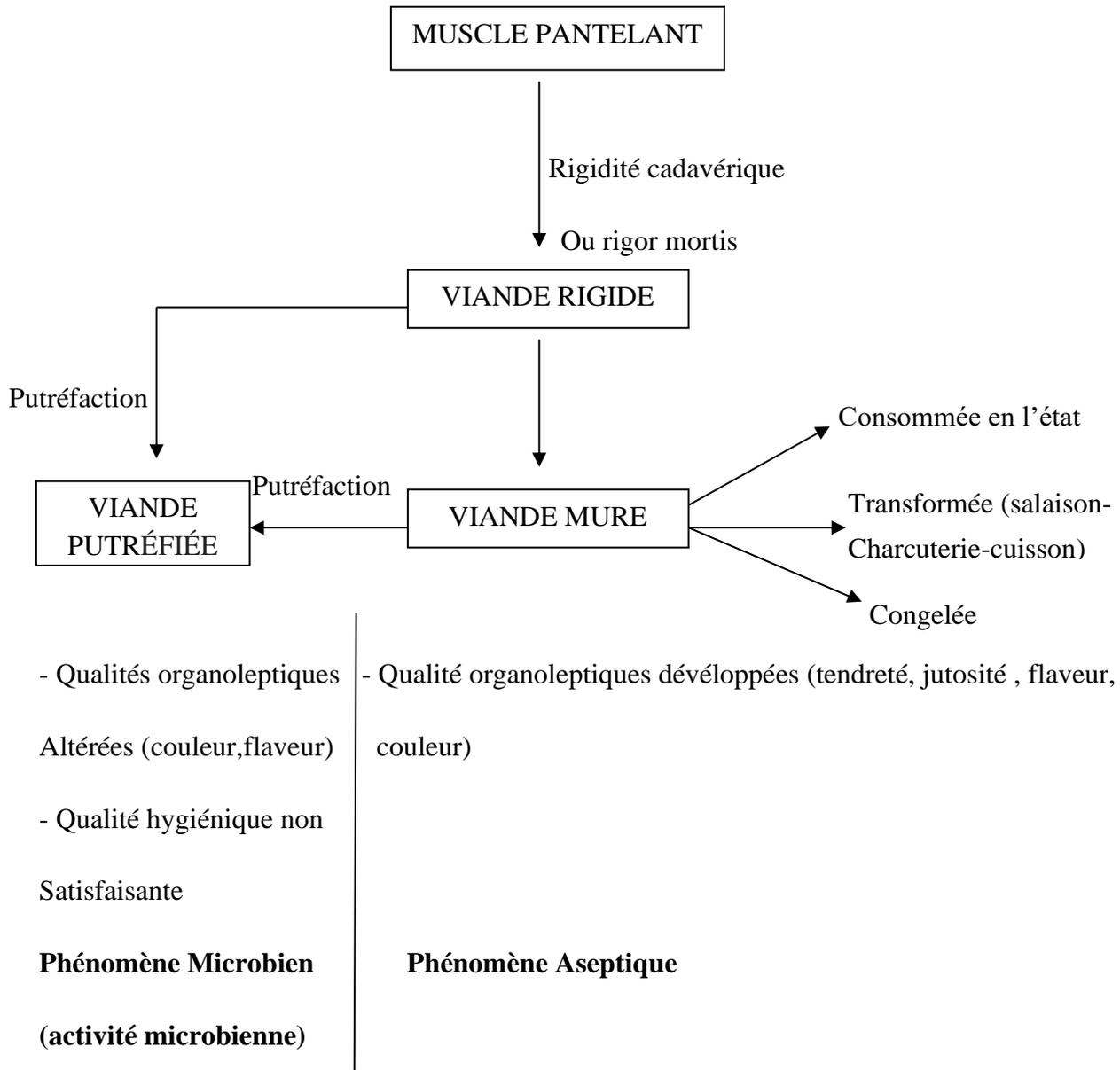


Figure 1 : Transformation du muscle en viande (Rosset et *al.*, 1984)

V. Microbiologie de la viande

V.1. Contamination des viandes

Les carcasses des animaux et les viandes découpées sont contaminées par les poils, les fèces des animaux ou les manipulations durant les opérations d'abattage et de traitement des viandes. Les facteurs de contamination de la viande par les germes pathogènes et les bactéries saprophytes sont surtout liés à la mauvaise hygiène du personnel et des manipulations ainsi qu'aux contaminations croisées (Heredia et *al.*, 2001).

La microflore des viandes est composée essentiellement de germes saprophytes. La Contamination par les germes pathogènes n'apparaît que rarement (Cartier, 2007).

V. 2. Origine de la contamination des carcasses

Les sources de contamination microbienne de la viande sont diverses et d'importance inégale. Selon l'origine de la contamination, les microorganismes peuvent être endogènes ou exogènes (Goudiaby, 2005). Pour la contamination superficielle, les germes sont apportés soit au cours de l'abattage (contamination agonique) ou au cours de la préparation des carcasses (contamination post mortem) (Rosset, 1982).

V. 2.1. Origine endogène

Les microorganismes contaminants proviennent de l'animal à partir duquel l'aliment est produit. Les appareils, digestif et respiratoire ainsi que le cuir des animaux sont un réservoir à microorganismes. Ces éléments constituent les principales sources de contamination des carcasses (Cartier, 2004).

V.2.1.1. Flore du tube digestif

La plupart des germes de contamination d'origine endogène sont d'origine intestinale. Ce sont des bactéries anaérobies (*Clostridium*, *Bacteroides*), aéro-anaérobie (Entérobactéries: *E. coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus*...) ou des microorganismes aérophiles (Entérocoques). Ces germes contaminent le muscle lors de l'éviscération et de la découpe de la carcasse (Leyral et Vierling, 1997).

Le tube digestif des animaux est aussi un réservoir de moisissures telles que *Aspergillus* sp. et *Penicillium* sp. (Hadlock et Schipper, 1974). et de levures telles que *Rhodoturulla*, *Candida* et *Saccharomyces* (Aboukheir et Kilbertus, 1974).

V.2.1.2. Flore du cuir

Le cuir est un vecteur de la contamination pour la carcasse elle-même, par contact ou par l'intermédiaire du matériel de travail pour les autres carcasses et pour l'air ambiant. Ces derniers deviennent ainsi à leurs tours vecteurs. Les cuirs sont porteurs de nombreux germes tels : *Escherichia coli* et les coliformes (*Aerobacter*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Klebsiella*) (Cartier, 2007).

V. 2.1.3. Flore des voies respiratoires

Parmi les sources de contamination superficielle, le système respiratoire (cavité nasopharyngée) renferme essentiellement des Staphylocoques (Morissetti, 1971).

V.2.2. Origine exogène

V.2.2.1. Contamination à partir du personnel

La peau, les appareils respiratoire et digestif de l'homme sont des réservoirs de microorganismes variés. Les régions de la bouche, du nez et de la gorge contiennent des Staphylocoques. Les personnes souffrant de maladies graves (tuberculose, brucellose, salmonellose...) sont très susceptibles de contaminer la viande et doivent être écartées (Blood, 1969).

V. 2.2.2. Infrastructures et équipements

Les surfaces des locaux (sols, murs, plafonds), équipements (treuil de soulèvement, crochets, arrache cuir) ainsi que le matériel (couteaux, haches, bacs, seaux ...) s'ils sont mal conçus, peuvent être une source de contamination. Les outils et les surfaces de travail mal nettoyées constituent une source certaine de contamination (Cartier , 2007).

V.2.2.3. Milieu

- **Eau**

L'eau est abondamment utilisée dans les abattoirs mais son utilisation n'est pas sans effet néfaste car elle peut constituer une source de multiplication de germes, surtout dans les endroits humides, non nettoyés régulièrement (Andjongo , 2006).

- **Air**

L'atmosphère des abattoirs est polluée par les déplacements des animaux et du personnel, la manutention du cuir lors de la dépouille et les viscères maintenus dans le hall d'abattage (Fournaud, 1982).

L'air peut se charger des microorganismes responsables d'altérations voire de maladies.

En effet, les poussières et les particules véhiculées par l'air sont susceptibles de contaminer les surfaces de travail ainsi que les carcasses. Elles peuvent provenir du sol, des tenues du personnel et des murs (Andjongo , 2006).

V.2. Multiplication de la Microflore initiale

Les facteurs de la croissance microbienne dans la viande sont notamment l' A_w , le rH, le pH, l'influence du sel et la température. La plupart de ces paramètres a été notamment évoquée au cours de la transformation du muscle en viande, nous apporterons cependant quelques précisions.

V.2.1. Activité de l'eau (A_w)

L'activité de l'eau (A_w) mesure la disponibilité en eau du milieu dans lequel se trouve la microflore. D'une manière générale, plus l' A_w du milieu est élevée c'est-à-dire proche de 1, plus le développement de la microflore est intense.

L' A_w de la viande fraîche est de 0,98-0,99 ; elle est favorable à la multiplication de toutes les espèces microbiennes. Si la profondeur de la viande conserve une A_w élevée il n'en est pas de même de la surface. Les variations d' A_w de la surface de la viande (liée à l'humidité relative ou HR de l'atmosphère) ont des répercussions Sur la croissance des germes superficiels et abaissement de cette A_w se traduit par une dessiccation, une espèce de croûtage, qui s'oppose à la multiplication microbienne. Toutes choses égales par ailleurs, on constate qu'une viande conservée dans une atmosphère ayant une HR élevée (supérieure à 95 %) se conserve moins longtemps qu'une viande entreposée en ambiance sèche. On peut penser qu'il faut écarter systématiquement la conservation en milieu humide. L'ambiance sèche associée au froid réalise une réelle opposition à la multiplication microbienne, mais elle entraîne des pertes de masse appréciables donc des pertes économiques importantes. Dans la pratique, le choix est difficile et le frigoriste appliquera une HR ambiante provoquant une A_w de la viande compatible avec un bon aspect, une perte de masse limitée et une qualité hygiénique satisfaisante (Bourgeois et *al.* , 1996).

V.2.2. pH

Le pH du muscle vivant est voisin de la neutralité. Après la mort il descend plus ou moins rapidement pour atteindre lors de l'apparition de la rigidité cadavérique une valeur de 5,5-5,7 ; cette valeur reste ensuite fixe, c'est elle que l'on observe dans la viande normale, c'est-

à-dire normalement produite et normalement conservée. Par contre les viandes DFD ont un pH élevé compris entre 6,2 et 6,7 (Bourgeois et *al.*, 1996). 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 (Guiraud,2012) . Les levures et moisissures tolèrent une gamme de pH très large pour la croissance (de 2 à 8,5) avec un pH optimal entre 4 et 6. La plupart des bactéries se multiplient quant à elles en milieu neutre mais la gamme de tolérance pour le pH peut être assez large. Lorsque le pH est inférieur à 4,5, la croissance des bactéries est inhibée. C'est la raison pour laquelle, les aliments acides se conservent mieux (comme par exemple le citron, le vinaigre, la tomate, l'orange,...) et que l'on utilise du vinaigre pour la conservation de certains aliments (Borges, 2014). Les moisissures et les levures se développent ainsi à la surface des fruits acides alors que les bactéries colonisent les viandes et poissons dont le pH est neutre (Borges, 2014).

V.2.3. Potentiel d'oxydo-réduction (rh)

Il existe plusieurs classes de bactéries en fonction de leurs rapports avec l'oxygène (Borges, 2014) :

- 1 - Les bactéries aérobies strictes ne se développent qu'en présence d'air. Leur source principale d'énergie est la respiration. L'oxygène moléculaire, ultime accepteur d'électron, est réduit en eau (*Pseudomonas, Acinetobacter, Neisseria*) ;
- 2 - Les bactéries microaérophiles se développent mieux ou exclusivement lorsque la pression partielle d'oxygène est inférieure à celle de l'air (*Campylobacter, Mycobacteriaceae*) ;
- 3 - Les bactéries aéro-anaérobies facultatives se développent avec ou sans air. C'est le cas de la majorité des bactéries rencontrées en pathologie médicale, à savoir les entérobactéries (*Escherichia, Salmonella*), les streptocoques, les staphylocoques. L'énergie provient de l'oxydation des substrats et de la voie fermentaire ;
- 4 - Les bactéries anaérobies strictes ne se développent qu'en absence totale ou presque d'oxygène qui est le plus souvent toxique. Ces bactéries doivent se cultiver sous atmosphère réductrice. La totalité de l'énergie est produite par fermentation.

V.2.4. Effet de la température

Les bactéries peuvent être classées selon leur température optimale de croissance (Figure 2) en (Borges, 2014):

- Bactéries mésophiles (Ex. : *Escherichia coli*) : température de croissance comprises entre 20° et 40° C (température optimale de 37°C),
- Bactéries thermophiles (Ex. : *Thermus aquaticus*) : températures de croissance comprises entre 45°C et 70°C,
- Bactéries hyperthermophiles (Ex. : *Archaea*) : températures de croissance supérieures à 80°C,
- Bactéries psychrophiles (Ex. : *Clostridium*) : Températures proches de 0°C (optimum à 10-15°C).
- Bactéries psychrotrophes (Ex. : *Pseudomonas*) : températures de croissance proches de 0°C avec un optimum de croissance proche des bactéries mésophiles.

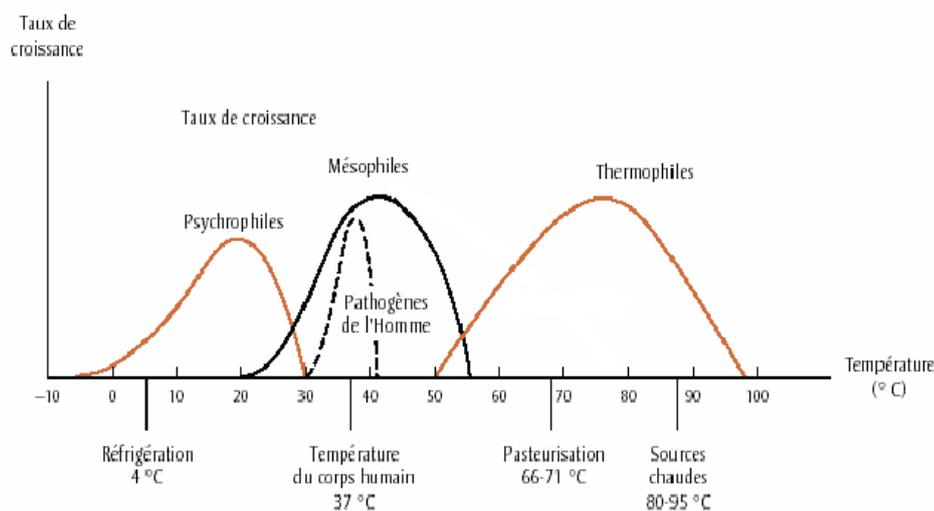


Figure 2: Courbes de croissances de microorganismes psychrophiles , mésophiles et thermophiles selon la température (Borges, 2014)

La plupart des cultures bactériennes sont effectuées à 37°C par analogie avec la température centrale des mammifères, à cause, sans doute, des coutumes acquises en bactériologie médicale pour l'isolement de bactéries pathogènes à partir des prélèvements humains ou animaux, à la température desquels elles sont supposées s'être adaptées. Cependant, certaines bactéries ne se comportent qu'occasionnellement comme des parasites des organismes supérieurs (infections à bactéries « opportunistes »), et leurs conditions de vie habituelles dans le milieu extérieur leur confèrent une adaptation soit à des températures inférieures à 30°C (bactéries psychrophiles), soit à des températures de l'ordre de 40 à 45°C (bactéries thermophiles). La majorité des bactéries tolère une échelle de températures comprises entre 20 et 45°C ; ce sont les bactéries mésophiles. La température, paramètre sélectif pour la

croissance des bactéries, conditionne la prolifération exclusive de certaines espèces dans un biotope donné. Ainsi, les bactéries thermophiles seront abondantes dans les sources chaudes ou dans des bains de refroidissement de centrales thermiques ou thermo-nucléaires. Certaines bactéries psychrophiles posent des problèmes majeurs et de plus en plus fréquents en microbiologie alimentaire, du fait de la généralisation des procédés de stockage des denrées au réfrigérateur. Le stockage risque d'entraîner la prolifération d'espèces pathogènes pour l'homme, essentiellement des bactéries Gram négatives, capables de se multiplier à + 4°C, alors que la plupart des bactéries contaminantes habituelles des aliments sont mésophiles et ont un métabolisme inhibé à basse température (Borges, 2014).

Chapitre II : Microorganismes d'altérations et de toxi-infections alimentaires

I. Introduction

D'après son étymologie, le mot micro-organisme signifie « petit organisme ». En effet, les micro-organismes sont de minuscules organismes vivants invisibles à l'œil nu et présents presque partout sur terre. Ils ont un rôle essentiel dans la nature mais sont source de nombreux problèmes dans l'industrie alimentaire. Leur activité métabolique modifie la composition des aliments qu'ils infectent (Guiraud, 2012).

Le terme de micro-organisme englobe à la fois les bactéries, certains champignons (moisissures, levures) mais aussi les virus (pour certains biologistes). Ces organismes sont donc un groupe très hétérogène (comprenant des procaryotes et des eucaryotes) dont les seuls points communs sont la taille et la forme (Borges, 2014).

II.Types de micro-organismes

II.1. Bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes procaryotes (sans noyau) unicellulaires simples. Leur génome est constitué d'ADN circulaire (un seul chromosome et éventuellement des plasmides). Les bactéries sont capables de synthétiser leurs propres macromolécules et constituants cellulaires à partir de nutriments.

Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 micromètres et leur morphologie est très diversifiée. Ainsi, leurs cellules peuvent être rondes (coques), allongées (bacilles, bâtonnets), intermédiaires (cocobacilles) ou encore spiralées (Guiraud, 2012). Les bactéries sont une source de contamination de nombreux produits alimentaires. Certaines sont utiles (fermentations) alors que d'autres sont dangereuses d'un point de vue sanitaire et sont responsables de toxi-infections. Elles provoquent des infections en envahissant un hôte ou libèrent des toxines dans l'aliment.

II.2. Champignons

Tout comme les bactéries, les champignons sont présents dans le sol, l'eau et l'air. Le terme champignons nous évoque spontanément les cèpes, les morilles et autres espèces comestibles ou non qui sont constituées d'un chapeau et d'un pied. Mais nous allons nous intéresser aux champignons microscopiques, parmi lesquels on distingue les levures et les moisissures (Borges, 2014).

- **Levures**

Les levures sont des champignons microscopiques (6 à 10 microns) unicellulaires eucaryotes qui interviennent dans la fermentation des matières animales ou végétales en transformant les sucres en alcool et gaz carbonique. Elles se reproduisent majoritairement par multiplication asexuée (bourgeonnement ou scission) et pour certaines par reproduction sexuée. La levure est capable de vivre en aérobiose (respiration) ou en anaérobiose (fermentation). Les capacités de fermentation des levures peuvent être responsables de gonflements de certains produits alimentaires et de l'apparition d'un goût de fermentation alcoolique (Borges,2014).

- **Moisissures**

Les moisissures sont des champignons microscopiques (1 à 60 micromètres) filamenteux uni ou pluricellulaires eucaryotes hétérotrophes (qui se nourrissent en décomposant de la matière organique ou en parasitant un hôte). La multiplication des moisissures se fait par reproduction asexuée, c'est-à-dire par émission de spores, ou par reproduction sexuée (pour certaines espèces). Une moisissure est composée d'une partie végétative qui puise dans le milieu les éléments nutritifs nécessaires et de structures reproductrices qui servent à la multiplication et à la dissémination de l'espèce. Lorsqu'un aliment est conservé dans de mauvaises conditions, des moisissures contaminent l'aliment et le dégradent. Certaines moisissures peuvent même libérer dans l'aliment des mycotoxines qui ont des conséquences sanitaires importante (Borges , 2014).

II.3. Virus

Un virus est une entité biologique microscopique infectieuse qui possède un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN). Il ne peut se multiplier qu'en pénétrant dans une cellule, appelée cellule hôte, dont il utilise les constituants. Les procaryotes et les eucaryotes peuvent tous deux être parasités par des virus qui leur sont propres. La taille des virus peut varier de 20 à 300 nm (Borges , 2014).

III. Microorganismes d'altérations et de toxi-infections alimentaires

III.1. Flore aérobie mésophile totale

III.1.1. Définition

La flore mésophile aérobie totale est l'ensemble des micro-organismes aptes à se multiplier à l'air aux températures moyennes, plus précisément ceux dont la température optimale de croissance est située entre 25 et 40°C. Ils peuvent être des micro-organismes pathogènes ou d'altération (Bougeois et Leveau, 1996).

III.1.2. Importance de l'étude de la flore totale

L'analyse microbiologique permet de déterminer (Bougeois et Leveau, 1996) :

- La qualité hygiénique qui caractérise le risque pour la santé du consommateur,
- La qualité commerciale qui caractérise l'existence ou le risque d'altération,
- L'étude spécifique de la flore totale apporte des informations sur la salubrité du produit.

Même s'il n'y a pas de corrélation directe entre le nombre de mésophiles et le nombre de pathogènes, il est constaté que le nombre de pathogènes ne se manifeste que pour une flore totale élevée (dans des aliments suspects d'être responsables d'intoxication alimentaire, il est rare que le nombre de mésophiles soit inférieur à 10^5). De même, la flore totale renseigne sur la qualité organoleptique et la durée prévisible de conservation : l'altération n'apparaît que pour une flore totale de l'ordre de 10^6 à 10^8 germes par gramme (Guiraud et Galzy, 1980).

L'étude de la flore totale est donc un outil permettant de garantir une certaine sécurité hygiénique et un certain niveau organoleptique.

III.2. Coliformes

Les coliformes sont des entérobactéries vivant principalement dans les intestins. Ces bactéries fermentant le lactose (avec gaz) à 30°C. Les bactéries correspondantes appartiennent aux genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Entérobacter* à 35°C, ou aux coliformes thermotolérants à 44°C. Les coliformes fécaux et *E. coli* survivant difficilement hors de l'intestin traduiront donc une contamination fécale récente (Joffin et Joffin, 1999). Ce sont des bactéries Gram et oxydase négatifs, non sporulant et aéro-anaérobies facultatives (Guiraud, 1998).

III.2.1. Coliformes Totaux

III.2.1.1. Généralités

Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau). Ce sont des bactéries en forme de bâtonnets, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase, qui permet de libérer un agent chromogène utilisé dans des milieux de culture servant à les identifier (Edberg et al., 2000 ; Santé-Canada, 2012). Les principaux genres bactériens inclus dans le groupe sont *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia* (WHO, 2011; Santé-Canada, 2012). La presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé (Edberg et al., 2000 ; WHO, 2011), à l'exception de certaines souches d'*E. coli* ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes.

III.2.1.2. Bactériologie

E. coli fait partie du groupe des coliformes totaux et constitue le seul membre de ce groupe que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales des humains et des animaux. Sa présence dans l'eau indique non seulement une contamination récente par des matières fécales, mais aussi la présence possible de bactéries, virus et protozoaires pathogènes. La détection d'*E. coli* dans l'eau doit conduire à la diffusion immédiate d'un avis d'ébullition de l'eau et à l'adoption de mesures correctives.

À l'inverse, l'absence d'*E. coli* dans l'eau potable indique généralement que celle-ci ne contient pas de bactéries intestinales pathogènes. Cependant, comme *E. coli* est moins résistant à la désinfection que les virus et protozoaires intestinaux, son absence n'indique pas nécessairement que l'eau potable ne contient pas de virus et protozoaires intestinaux. Bien qu'il soit impossible d'éliminer totalement le risque de maladies d'origine hydrique, l'adoption d'une approche à barrières multiples pour une eau potable sûre réduira au minimum la présence de micro-organismes pathogènes, et en ramènera les concentrations dans l'eau potable à aucun micro-organisme détectable ou à des niveaux n'ayant pas été associés à des maladies.

E. coli est le seul membre du groupe des coliformes totaux que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales; on trouve les autres membres du groupe dans l'eau, le sol et la végétation, ainsi que dans les matières fécales. Les coliformes totaux sont facilement éliminés par la désinfection. Leur présence dans l'eau potable à la sortie d'une usine de traitement

indique une faille grave au niveau du traitement et doit conduire à la diffusion immédiate d'un avis d'ébullition de l'eau et à l'adoption de mesures correctives. La présence de coliformes totaux dans l'eau dans le réseau de distribution (mais non dans l'eau sortant de l'usine de traitement) indique que le réseau de distribution est vulnérable à la contamination ou simplement qu'il s'y produit une recroissance bactérienne. Il faut dans ce cas déterminer l'origine du problème et prendre les mesures correctives qui s'imposent. Dans les systèmes semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable, tels que les écoles et les foyers ruraux, la présence de coliformes totaux peut donner des indications quant aux points vulnérables du réseau, en signalant une contamination de la source, ainsi qu'une recroissance bactérienne ou un traitement inadéquat (le cas échéant). En cas de détection de la présence de coliformes totaux dans l'eau potable, les autorités locales compétentes peuvent émettre un avis d'ébullition de l'eau et recommander des mesures correctives. Il est important de relever que les décisions concernant les avis d'ébullition de l'eau doivent être prises localement et être fondées sur une connaissance du site et sur les conditions propres à celui-ci. La numération des bactéries hétérotrophes (NBH) constitue une autre méthode pour surveiller la qualité bactériologique de l'eau potable. Ses résultats ne sont pas un indicateur de la salubrité de l'eau et ne doivent donc pas être utilisés comme indicateurs d'éventuels effets indésirables sur les humains. Chaque système aura un niveau et une plage de référence NBH qui lui sont propres, selon les caractéristiques du site; il faut remédier à toute augmentation des concentrations qui dépasserait les niveaux de référence. Certaines bactéries d'origine hydrique, telles que *Legionella* spp. et *Aeromonas hydrophila*, se trouvent naturellement dans l'environnement et peuvent potentiellement causer des maladies. L'absence d'*E. coli* n'indique pas nécessairement l'absence de ces microorganismes; pour nombre de ces derniers, on ne connaît pas actuellement d'indicateurs microbiologiques adéquats. Cependant, une approche à barrières multiples, incluant un traitement approprié et un réseau de distribution bien entretenu, peut réduire la concentration de ces bactéries pathogènes à des niveaux non détectables, ou à des niveaux n'ayant jamais été associés à des maladies humaines (Santé-Canada, 2006).

III.2.2. Coliformes thermotolérants

III.2.2.1. Généralités

Les coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants (CTT) sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une

moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (Santé-Canada, 1991; Elmund et al., 1999; Edberg et al., 2000). La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90 % des coliformes thermotolérants détectés (Barthe et al., 1998; Edberg et al., 2000). Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire (Barthe et al., 1998; OMS, 2000). C'est pourquoi il serait plus approprié d'utiliser le terme générique « coliformes thermotolérants » plutôt que celui de « coliformes fécaux » (OMS, 1994; Robertson, 1995). L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (CEAEQ, 2000). Par ailleurs, puisque les coliformes thermotolérants ne prolifèrent habituellement pas dans un réseau de distribution, ils sont utiles pour vérifier son étanchéité, permettant de détecter une contamination fécale découlant par exemple d'infiltrations d'eau polluée dans les canalisations (AWWA, 1990). Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction (Robertson, 1995).

III.2.2.2. Bactériologie

Les coliformes thermotolérants sont des microorganismes en bâtonnets, ne formant pas de spores, Gram négatifs, oxydase négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de sels biliaires, ou autres agents de surface ayant des propriétés inhibitrices de croissance analogues et capables de fermenter le lactose avec production d'acide (ou d'aldéhyde) et de gaz en 48 heures à la température de 44°C.

Au plan taxonomique, les coliformes thermotolérants constituent un groupe hétérogène qui comporte plusieurs genres comprenant des espèces d'origine fécale et des espèces d'origine non fécale.

Les méthodes utilisées pour dénombrer les CTT reposent en particulier sur leur thermotolérance et comportent une incubation à 44 - 45°C. Cependant, de nombreuses données montrent que *Klebsiella pneumoniae* d'origine non obligatoirement fécale (cette bactérie peut être retrouvée dans les déchets de papeterie par exemple) se développe bien à 44-45°C. Au contraire, des coliformes d'origine fécale tels que certains *Enterobacter cloacae*

et *Klebsiella oxytoca* par exemple ne cultivent pas à ces températures élevées (Gourmelon *et al.*, 2002).

IV. Entérobactéries

IV.1. *Escherichia Coli*

IV.1.1. Généralités

Escherichia coli est l'espèce type du genre *Escherichia*. Appelée communément «colibacille », cette espèce qui a fait l'objet d'un très grand nombre d'étude constitue le modèle des bacilles à Gram négatif aérobies (Joly et Reynaud, 2004).

IV.1.2. Caractères bactériologiques

- **Caractères morphologiques**

Ce sont des bacilles mobiles le plus souvent, à Gram - (Clave, 2015).

- **Caractères cultureux**

Ces microorganismes sont aéro-anaérobies facultatifs, cultivant facilement sur milieux ordinaires, lactosés. Sur milieux solides, après 18-24h, les colonies sont arrondies, lisses, à bords réguliers, de 2 à 3 mm de diamètre. Par ailleurs, ces bactéries poussent sur milieux sélectifs pour entérobactéries type Mac Conkey et Drigalski (Clave, 2015).

- **Caractères enzymatiques et biochimiques**

Ce sont des bactéries Oxydase - et catalase +.

-Caractères d'une Entérobactérie :

Les entérobactéries sont Glucose +et nitratase +

-Caractères de *E. coli* :

Les *E. coli* sont Gaz en glucose, lactose +, ONPG +, H₂S -, mannitol +, sorbitol + (le plus souvent sauf souches de ECEH, mais pas toutes), indole +, citrate -, VP -, urée -, TDA ou APP, gélatine -, malonate -, inositol -, adonitol -, LDC variable (90% +), ODC variable et ADH - (Clave, 2015).

IV.1.3. Caractères antigéniques

L'antigène somatique O, définissant le sérotype, est contenu dans les lipopolysaccharides présents sur la paroi bactérienne des souches à coloration de gram négative. L'antigène flagellaire H est de nature protéique entrant dans la structure du flagelle permettant la mobilité de la bactérie. L'antigène de surface K est présent de façon inconstante mais bloque l'agglutinabilité de l'antigène O et donc le sérogroupage lorsqu'il est présent. L'identification des antigènes et sérotypes a permis de différencier des souches pathogènes des souches commensales. En effet, certains sérotypes ne sont jamais, ou rarement, associés à des maladies tandis que d'autres sont très fréquemment (Sojkaw, 1965; Orskov, 1984; Beutin, 1999).

- **Antigènes somatiques O**

Les antigènes somatiques O sont associés aux lipopolysaccharides de la paroi et ont une variabilité qui permet de décrire au moins 164 spécificités. L'identification de la spécificité est habituelle pour décrire une souche, il s'agit du sérogroupage O. Elle est compliquée et réalisée dans les laboratoires spécialisés (Joly et Reynaud, 2004).

- **Antigènes flagellaires H**

Les antigènes flagellaires H sont associés aux protéines des flagelles et sont également variés. Une cinquantaine ont été identifiés grâce à des méthodes d'agglutination ou d'immobilisation dans une gélose mobilité. Leur identification permet de déterminer le sérotype d'une souche de colibacille. Le sérotype rassemble les spécificités O, H et si possible K Sa détermination est utile dans les enquêtes épidémiologiques et pour caractériser les souches pathogènes. Ces dernières appartiennent en effet à des sérotypes précis. Quelques antisérums correspondant aux sérotypes les plus épidémiques des souches entéropathogènes sont commercialisés (Joly et Reynaud, 2004).

- **Antigènes de surface K**

Les antigènes de surface aussi appelés antigènes de capsule ou d'enveloppe ou encore antigène Vi chez Salmonella sont des polysides acides qui ont été initialement divisés en trois types A, B et L. Ils masquent les antigènes somatiques O et empêchent le sérotypage lorsqu'ils sont présents. L'antigène L, thermolabile, est le plus fréquent. Le chauffage à 100°C pendant une demi-heure le détruit et démasque l'antigène O le rendant accessible aux techniques de sérogroupage. L'antigène A est plus rare et correspond véritablement à un

antigène capsulaire. Le chauffage à 100°C ne suffit pas à le détruire. Seul un autoclavage à 121°C durant une heure permet de démasquer l'antigène somatique. L'antigène B possède une thermolabilité intermédiaire entre les Ag L et A. Un chauffage à 100°C permet le sérogroupage mais ne supprime pas totalement l'antigène B. Un chauffage plus prolongé peut permettre de le détruire totalement (Diallo, 2013).

IV.1.4. Habitat

Les *E. coli* font partie de la flore microbienne du côlon chez l'homme et de l'appareil digestif des animaux à sang chaud. L'appellation commune « colibacille » est une contraction de « bacille à côlon » et rappelle le caractère commensal au niveau du tube digestif de ces bactéries (Finegold et al., 1983).

Chez l'homme les colibacilles constituent l'espèce dominante de la flore bactérienne aérobie du côlon (10^7 à 10^9 bactéries par gramme de matières fécales chez l'adulte). Ils sont présents également mais à un taux plus faible au niveau de l'intestin grêle (jéjunum distal et iléon) chez l'homme, le porc et le rat (Savage, 1977). Plusieurs dizaines de sérotypes coexistent normalement dans le tube digestif d'un même individu. Cette flore n'est pas fixe et subit en permanence des fluctuations sous l'effet des facteurs environnementaux (apport d'autres bactéries, alimentation, pression de sélection par les antibiotiques...). Dans cette flore certaines souches sont potentiellement pathogènes et pourront si les conditions sont favorables être à l'origine d'infections. À ce titre, le colibacille est considéré comme un pathogène opportuniste, Sa présence dans l'eau, les aliments ou le sol est anormale, elle permet d'apprécier leur qualité microbiologique. À ce titre, *E. coli* est un indicateur très utilisé pour rechercher et mesurer une pollution fécale (colimétrie) (Joly et Reynaud, 2004).

IV.1.5. Pouvoir pathogène chez l'homme

Le pouvoir pathogène d'*E. coli* chez l'homme et chez l'animal est important et varié (Levine, 1985).

Le colibacille est responsable d'infections intestinales et d'infections extra-intestinales (Tableau 4). Les souches pathogènes possèdent des propriétés particulières (pouvoir d'adhésion, production de toxines...) qui sont nécessaires au pouvoir infectieux et qui permettent de les repérer et de les identifier quand elles sont associées dans une flore complexe. Ces souches sont classées dans des « pathovars » (variétés pathogènes), chaque pathovar est associé à un syndrome infectieux caractéristique. Dans le cas d'une infection

digestive il est essentiel Pour incriminer une souche de colibacille de démontrer qu'elle appartient à l'un des pathovars reconnu responsable de cette pathologie.

Tableau 4: Principales pathologies chez l'homme dues à *E. coli* (infections nosocomiales exclues) (Joly et Reynaud, 2004).

Infections extra-intestinales	Infections intestinales
<ul style="list-style-type: none"> -Arbre urinaire : cystites, pylonéphrites -Abdominales (« para-intestinales »): appendicites, cholécystites, péritonites... -Autres : Septicémie, méningites néonatales Suppurations diverses (infections ostéo-articulaires...) Prostatites Infections puerpérales 	<ul style="list-style-type: none"> -Diarrhée du voyageur, diarrhées épidémiques chez les enfants dans les pays en voie de développement → due aux ETEC. -Gastroentérites infantiles aiguës ou chroniques, épidémiques en maternités ou crèches → due aux EPEC. -Syndrome dysentérique chez l'adulte et l'enfant → dû aux EIEC. -Syndrome hémorragique et syndrome hémolytique et urémique → dû aux EHEC. -Diarrhées persistantes dans les pays en voie de développement → dues aux EaggEC.

IV.2. *Salmonella*

IV.2.1. Définition normalisée de *Salmonella* (règlement n 2073 /2005 modifié)

Le libellé des critères microbiologiques du règlement n° 1441/2007, modifiant le règlement n° 2073/2005, fait référence à *Salmonella*, c'est-à-dire au genre *Salmonella*, ou *Salmonella* spp (selon l'expression de la norme ISO 6579), Selon la norme ISO 6579, les salmonelles sont les bactéries correspondant aux colonies suspectes sur gélose xylose lysine désoxycholate (gélose XLD) et sur un autre milieu sélectif solide approprié, laissé au choix du laboratoire, complémentaire du milieu gélosé XLD, permettant la recherche des souches de *Salmonella* à lactose positive, incluant *Salmonella Typhi* et *Salmonella Paratyphi*, telles que la gélose au vert brillant (BGA:brilliant green agar), la gélose au sulfite de bismuth (Dromigny,2012).

IV.2.2. Caractères bactériologiques

Les bactéries du genre *Salmonella* appartiennent à la famille des ENTEROBACTERIACEAE dont elles possèdent les principaux caractères.

Selon le Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (9^e Éd. 1984), le genre comporte des bacilles de 0,7 - 1,5 µm x 2,0 - 5,0 µm, à Gram négatif, anaérobies facultatifs, habituellement mobiles grâce à une ciliature péritriche, mais des mutants immobiles peuvent exister et *Salmonella gallinarum* est toujours immobile. Les *Salmonella* cultivent bien sur les milieux nutritifs ordinaires et donnent en 18-20 heures des colonies de 2-3 mm de diamètre à l'exception de certains sérotypes donnant toujours des colonies naines (*S. abortusovis*, *S. abortusequi*, *S. typhisuis*). Les *Salmonella* présentent un (G + C) de 50-53 %.

IV.2.3. Caractères antigéniques

Les bactéries du genre *Salmonella* peuvent être différenciées en sérotypes en fonction de leur structure antigénique (Le Minor et Veron, 1989).

- **Antigènes somatiques (antigènes « O »)**

Constitutifs de la paroi bactérienne, de nature lipopolysaccharidique (LPS), ils représentent l'endotoxine des *Salmonella*. Ils sont thermo-et alcool-stables. Ils sont constitués de plusieurs éléments, le lipide A responsable des effets toxiques, le « core » ou partie basale et le polysaccharide support de la spécificité antigénique « O ». Pour les formes Smooth, celle-ci est liée à la nature des sucres constitutifs et à celle de leurs liaisons.

Il existe des facteurs majeurs et mineurs. Seuls, les facteurs majeurs servent à caractériser les divers groupes antigéniques (O4 = groupe B, O9 = groupe D...). Parmi les facteurs « O » mineurs ou accessoires, certains ne sont exprimés qu'en présence d'un bactériophage (conversion lysogénique) d'autres résultent de la modification du polysaccharide par une enzyme à déterminisme chromosomique (ex : O5 dérivant de O4), ou d'une information donnée par des plasmides.

La conversion lysogénique est particulièrement fréquente dans le groupe E. Seuls, les facteurs « O » majeurs présentent un intérêt diagnostique.

L'agglutination obtenue avec les sérums anti-O, est d'apparition lente, granulaire et elle est difficilement dissociable.

Certaines bactéries peuvent perdre totalement ou partiellement leur spécificité antigénique par perte de chaînes saccharidiques spécifiques (formes Rough ou R, formes de transition ou T). Ces souches perdent leur pouvoir pathogène et sont facilement phagocytées. Leurs cultures

sont auto-agglutinables en eau physiologique ou mieux en eau hypersalée à 20 p. mille de NaCl.

- **Antigènes d'enveloppe (antigènes capsulaires ou « K »)**

Ce sont des polysaccharides capsulaires. Ils masquent l'agglutination O, qui peut être révélée après chauffage de 10 min à 100°C ou d'1 h à 60°C.

L'antigène Vi (de virulence) est fréquent chez *S. Typhi*, rare chez *S. Paratyphi C* et exceptionnel chez *S. dublin*.

Son expression est codée par 2 gènes actifs, via A et via B, présents sur le Chromosome et dont la présence simultanée est requise.

Les pili ou fimbriae sont des appendices externes qui peuvent être de plusieurs types. Les pili de type 1 ou pili communs permettent aux Salmonella de se fixer, sur les cellules eucaryotes, à des résidus de D-mannose. La présence d'une hémagglutinine mannose-résistante a été observée chez divers sérotypes.

Les pili sexuels (chez les bactéries Gram négatif interviennent dans les phénomènes de conjugaison. Ils sont codés par des plasmides.

- **Antigènes flagellaires (antigènes « H »)**

Les flagelles, agents de la mobilité bactérienne, représentent des filaments constitués d'une protéine, la flagelline dont la composition en acides aminés est constante pour un type antigénique.

L'agglutination H est rapide, floconneuse, facilement dissociable. Les antigènes H sont détruits par la chaleur et l'alcool.

La plupart des Salmonella peuvent exprimer 2 spécificités de leur antigène H. Lorsque les 2 sont exprimées, l'antigène est dit diphasique, la phase 1 est indiquée par des lettres et la phase 2, le plus souvent, par des chiffres. Certains sérotypes sont monophasiques, tels *S. Typhi* et *S. enteritidis*.

Certaines souches de sérotypes normalement diphasiques, peuvent n'exprimer qu'une seule spécificité. On peut alors révéler la phase manquante, en bloquant par un immun sérum la phase dominante (technique dite de l'inversion de phase).

IV.2.4. Habitat

Les salmonelles sont des bactéries de l'intestin où elles peuvent être présentes sans manifestation de symptômes cliniques chez l'hôte qui les hébergent. Quelques espèces

sont spécifiques à l'homme comme *S. typhi*, d'autres sont spécifiques à l'animal comme *S. pullorum* mais dans la majorité des cas les salmonelles ont un spectre d'hôte assez large (Sutra et al., 1998 ; Federighi, 2005).

IV.2.5. Gamme de doses infectieuse de *Salmonella*

La dose infectieuse varie en fonction de la souche de *Salmonella* ingérée. Elle est de l'ordre de 10^5 à 10^7 bactéries, hors sujet fragilisé. Elle est parfois de l'ordre de 10^1 à 10^{11} bactéries, avec les valeurs de dose infectieuse les plus faibles quand l'aliment est liquide, gras, riche en protéines, protégeant les salmonelles de l'acidité gastrique (Afssa, 2003 ; Invs, 2009).

IV.2.6. Risque de Salmonelloses

IV.2.6.1. Fréquence des accidents alimentaires salmonelliques

Les *Salmonella* non typhiques sont les principales causes de toxi-infection alimentaires collectives dans les pays industrialisés. Au total, 5 847 foyers de toxi-infections alimentaires collectives ont été déclarés pour la période de 1996 à 2005, en France.

L'agent responsable des toxi-infections alimentaires collectives a été mis en évidence microbiologiquement dans 2 667 foyers (46 %). 11 a été suspecté dans 2 074 foyers (35 %). Parmi les foyers pour lesquels l'agent était confirmé, *Salmonella* étant le plus fréquemment isolée (64 %) et le sérovar *Enteritidis* était prédominant (54 % des TIAC à *Salmonella*). *S. typhimurium* représentait 40 % des foyers confirmés à *Salmonella*. On peut toutefois constater une diminution depuis 2001 du nombre de foyers où *Salmonella* a été isolée.

Les 5 847 foyers de toxi-infections alimentaires collectives déclarés entre 1996 et 2005 ont provoqué 80 351 malades dont 7 364 (9 %) ont dû être hospitalisés. Environ 3 000 hospitalisations ont été dues à *Salmonella*. 45 personnes sont Décédées (0,06 % des malades). L'agent incriminé dans ces décès était *Salmonella* pour 22 personnes (49% des décès).

Il existe une recrudescence des foyers de toxi-infections alimentaires collectives, particulièrement des foyers dus à *Salmonella* durant la période estivale (juin à septembre). La proportion de toxi-infections alimentaires collectives à *Salmonella* était plus élevée en milieu familial qu'en restauration collective ou commerciale (respectivement 57% et 21%) (Delmas et al., 2006).

Aux États-Unis, 548 017 cas de salmonellose ont été rapportés de 1944 à 1983, puis 45 000 cas environ annuellement de 1990 à 1995.

L'incidence serait de deux millions de cas annuels, dont 500 à 2 000 cas mortels par an.

Dans les années 1990, *Salmonella enteritidis* a été le micro-organisme pathogène humain le plus commun, suivi de *Salmonella typhimurium* et de *S. heidelberg* (Anonyme, 1997).

IV.2.6.2. Formes épidémiologiques des salmonelloses

Une grande majorité de cas de salmonellose humaine ne sont jamais liées à un foyer. Aux États-Unis, en 2007, les souches de *Salmonella* provenant de foyers ont représenté seulement 5,4 % du total des *Salmonella* identifiées, les 94,6 % restant étaient des cas sporadiques, sans lien connu avec d'autres cas.

Les CDC (Centers for disease control and prevention, États-Unis) estiment d'ailleurs que l'incidence vraie des infections à *Salmonella* aux États-Unis est environ 38 fois plus grande que le nombre de cas réellement rapportés.

En effet, la plupart des malades éprouvent des symptômes modérés et ne consultent pas. Même si un médecin est consulté, des échantillons ne sont pas toujours envoyés pour analyse, à moins que les symptômes soient particulièrement graves, ou qu'un foyer soit identifié (FRI, 2009).

IV.2.6.3. Aliments responsables des accidents alimentaires salmonelliques

Les aliments responsables des accidents alimentaires salmonelliques sont (Delmas et *al.*, 2006) :

- Oufs et préparations à base d'œufs ;
- Viandes ;
- Produits de charcuterie ;
- Laits et produits laitiers ;
- Volailles ;
- Poissons et crustacés ;
- Coquillages ;
- Autres aliments (sans précision) ;
- Eau de boisson ;
- Aliments non retrouvés.

Parmi les denrées alimentaires d'origine végétale, on notera, au printemps 2008, un jus de fruits à l'origine de 15 cas confirmés dus à *Salmonella panama* aux Pays-Bas (Noel et *al.*, 2010).

Conclusion

La viande et les produits carnés sont des composants importants de notre alimentation. Ils sont en même temps la source d'un développement bactérien pouvant représenter un risque sanitaire pour le consommateur.

Les microorganismes sont présents dans l'environnement naturel de l'homme (eau, sol, surfaces diverses...), sur l'homme lui-même et sur tous les êtres vivants (plantes, animaux) dont il tire son alimentation. De ce fait le risque de contamination pour un produit alimentaire, transformé ou non est permanent tout au long de la chaîne alimentaire. Selon les microorganismes implantés, dont l'identité dépend des caractéristiques physicochimiques du produit, les contaminations peuvent avoir de plus ou moins grandes conséquences allant de la simple altération du produit, lui faisant perdre ses qualités organoleptiques ou sa valeur commerciale, à des toxi-infections graves.

La qualité hygiénique d'une viande dépend de sa qualité bactériologique. Cette dernière est susceptible d'influer, d'une part, sur la santé des consommateurs et, d'autre part sur les aptitudes technologiques des viandes à une transformation ultérieure et à la conservation.

La filière viande est très sensible aux contaminations durant toutes les étapes d'abattage et de distribution. Elle nécessite l'application stricte des bonnes pratiques d'hygiène et l'application du protocole HACCP au niveau des abattoirs et des boucheries et une attention particulière de la part des services d'inspection vétérinaire pour assurer la qualité de la viande et la santé et sécurité du consommateur. Les règles d'hygiène envisageables aux différents stades de la filière viande se situent à trois niveaux, à savoir hygiène des locaux et du matériel, hygiène et santé des personnels et hygiène des conditions de travail.

Références bibliographiques

Aboukheir S., et Kilbertus G., 1974 : Fréquence des levures dans les denrées alimentaires à base de viande. Ann. Nutr. Aliment. p28, 539 – 547

Afssa, 2003 : Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à un projet d'arrêté ministériel modifiant certains articles de l'arrêté du 23 février 1994 fixant les conditions Sanitaires de préparation, de commercialisation et d'utilisation des viandes séparées mécaniquement (VSM) — Afssa (Anses).

Alpha Amadou Diallo, 2013 : *Escherichia coli* pathogènes et résistantes aux antibiotiques dans les effluents d'origine humaine et animale : Prévalence et caractérisation avant et après traitement épuratoire. Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse.

Andjongo J, 2006 : Etude de la contamination des surfaces dans les Industries de transformation des produits de la Pêche au Sénégal : cas de la pirogue bleue. Mémoire de Magister en médecine vétérinaire.

Anonyme, 1997: Food-borne disease outbreaks (worldwide) (02) — Archive Number 19970901.1858. International Society for Infectious Diseases. Disponible à: <http://www.promedmail.org> .

Anonyme, 2017 : Technologie cuisine, les viandes de boucherie, classification générale des viandes de boucherie. Polycopié. 5p.

Anonyme, 2021 : Nutrition et santé. La-viande.fr. Disponible à l'adresse : <https://www.la-viande.fr> (consulté le 15-08-2021)

Anses, 2013 : (Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail. Table Ciqua de l'anses 2013. Disponible sur l'adresse : <https://ciqua.anses.fr/> (consulté le 22-10-2021).

Archibald F, 2000: The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems – a cause for concern? Water Qual Res J. Canada, 35:1-22.

AWWA, 1990: American Water Works Association. Water quality and treatment. 4^e edition 1194 p.

Barthe C, Perron J, Perron J.M.R., 1998 : Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire). Ministère de l'Environnement du Québec. 155p.

Bensid A, 2018 : Hygiène et inspection des viandes rouges. Livre électronique. ISBN : 978-9931-9438-3-9. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/325390384_Hygiene_et_inspection_des_viandes_rouges_BENSID

Bergey, 1984: Manual of Systematic Bacteriology. 9ème édition.

Beutin L, 1999: *Escherichia coli* as a pathogen in dogs and cats. Vet. Res. 30:285-298.

Blood N, 1969. Food hygiene. Food Processing. In: Goudiaby : 25:37-40.

Borges F, 2014 : Facteurs de multiplication des bactéries. Disponible à l'adresse : http://www.biotechno.fr/IMG/pdf/microbes_facteurs_de_multiplication_dossier.pdf (page consultée le 15/08/2021).

Bougeois C.M, Leveau J, 1996 : Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 331p.

Bourgeois M.C, Mescle J.F, Zucca J., 1996 : La microflore de la viande. In: Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. 2^{ème} édition. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 338p.

Brunel V, Jehl N, Drouet L, Portheau M.C, 2010 : Viande de volailles sa valeur nutritionnelle présente bien des atouts. Viandes prod. Carnés. 25 (1) : 18.

Cartier P, 2004 : Points de repères en matière de qualité microbiologique viandes bovines, Institut de l'Élevage (I. MOËVI). p175.

Cartier P, 2007 : Le point sur La qualité des carcasses et des viandes de gros bovins. Compte rendu final. n° 17 05 32 022. Service Qualité des Viandes. Département Techniques d'Élevage et Qualité. p12-58.

CEAEQ, 2000 : INSPQ (Institut national de santé publique du Québec). Fiches de synthèse sur l'eau potable et la santé humaine. Disponible à l'adresse : <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-fecaux> .

CEAEQ, 2015 : Recherche des coliformes totaux et de *Escherichia coli* avec milieu de culture Colilert®: méthode présence/absence. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

Clave D, 2015 : Fiche technique : *Escherichia coli*. Fiche technique bactériologie centre toulousain pour le Contrôle de qualité en Biologie clinique. 2p.

Coibion L, 2008 : Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine adaptation à la demande du consommateur. p7-25.

Craplet C, 1966 : La viande de bovins. Tome I. Ed Vigot frères. Paris. 7 486p.

Delmas G, Gallay A, Espié E, Haeghebaert S, Pihier N, Weill F.X, De Walk H, Vaillant V, Désenclos JC, 2006 : Les toxi-infections alimentaires en France entre 1996 et 2005. Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire (BEH 51-52) : 418-422.

Edberg SC, Rice EW, Karlin RJ, Allen MJ, 2000: *Escherichia coli* the best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of Applied Microbiology. 88: 106.

Elmund GK, Allen MJ, Rice EW, 1999: Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ. Res.* 71 : 332-339.

El Rammouz R, 2005 : Etude des changements biochimiques post mortem dans le muscle de volailles- contribution au déterminisme de l'amplitude de la diminution du pH. Thèse de doctorat. Institut national polytechniques de Toulouse. Filière science agronomique N° d'ordre 2221.138p.

Dromigny E, 2012 : Les critères microbiologiques des denrées alimentaires. Ed tec & doc lavoisier. Paris. 509p.

Finegold S.M, Sutter V.L, Mathisen GE., 1983: Normal indigenous flora. In : Hentges D.J. *En Human intestinal microflora in health and disease.* Academic Press. Inc. New York, 3-31.

Fosse J, 2003 : Les dangers pour l'homme liés à la consommation des viandes. Evaluation de l'utilisation des moyens de maîtrise en abattoir. Thèse. Ecole nationale vétérinaire de Nantes. page 24-46.

Fournaud J, 1982 : Type de germes rencontrés aux différents stades de la filière : In hygiène et technologie de la viande fraîche. Edition du C.N.R.S, pages: 109-119. Of British beef carcasses sample dprior to chilling, *Meat Sci.*, 50:265-271.

FRI, 2009: Food Research Institute —Food and non-food vehicles of infection for human outbreaks of salmonellosis, surveillance strategies, and industry initiatives to control Gre: *Salmonella* spp. Disponible à l'adresse : https://fri.wisc.edu/resources_food_reviews.php?brief=Pathogenic++microorganisms (page consultée le 22-10-2021)

Goudiaby ML, 2005 : Contribution à l'étude de la contamination superficielle des carcasses ovines. Aux abattoirs. Mémoire de diplôme d'études approfondies de Productions animales. 5p.

Guiraud JP, Galzy P, 1980 : L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Les éditions de l'usine nouvelle. Paris. 240p.

Guiraud JP, 2012 : Microbiologie alimentaire. Dunod. Paris. 576p.

Hadlock R, Schipper MAA, 1974: Schimmelpilze und Fleisch. In : Hygiène et technologie de la viande fraîche, Edition du CNRS. p105-108.

Heredia N, García S, Rojas G, Salazar L, 2001: Microbiological Condition of Ground Meat Retailed in Monterrey, Mexico. *Food Prot.*, 64 (8): 1249-1251.

InVS, 2009 : Institut de Veille Sanitaire. Regroupement de cas de salmonellose à *Salmonella putten* dans le Nord-Ouest de la France. Disponible à l'adresse : <http://www.invs.sante.fr/>

publications / 2009 /cas _salmonella_ putten _nord ouest /cas_salmonella_putten_nord_ouest.pdf.

Joffin C, Joffin J, 1999 : Microbiologie Alimentaire. 5^{ème} édition. Edition Académie régionale de documentation pédagogique L'Aquitaine. 1220p.

Joly B, Reynaud A, 2004 : Entérobactéries systématique et méthodes de diagnostic. Tec et Doc lavoisier. Paris. 356p.

Lammerding A, Fazil A, 2000: Needs, Gaps and Opportunities Assessment (NGOA) for Microbial Risk Assessment in Food and Water. Agence de la santé publique du Canada. 94p.

Le Minor L, VERON M, 1989 : Bactériologie médicale. 2e éd. Flammarion Médecine Sciences, Paris Ed. 1107p.

Levine MM, 1985: A DNA probe to identify enterohemorrhagic Escherichia coli of O157:H7 and other serotypes that cause hemorrhagic colitis and hemolytic uremic syndrome. J Infect Dis 156(1), 175-182.

Leyral G., et Vierling E., 1997 : Microbiologie et toxicologie des aliments. Editions Doin. p 54, 55, 81, 82, 82.

Melquiot P, 2021 : Micro-organismes. In : dictionnaire environnement. Disponible à l'adresse : http://www.dictionnaire-environnement.com/micro-organisme_ID3705.html (page consultée le 27-7 -2021).

Morisetti M., 1971: Public health aspect of food processing. In : Hygiène et technologique de la viande fraîche. Edition du CNRS. p 105 -108.

Noel H, Hofhuis A, De Jonge R, Heuvelink A.E, De Jong A, Heck M.E, De Jager C., Van Pelt W, 2010: Consumption of fresh fruit juice: how a healthy food practice caused a national outbreak of *Salmonella panama* gastroenteritis. Foodborne Pathog Dis. 7 (4): 3715-81.

OMS, 2000 : Organisation mondiale de la Santé. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume 2 – critères d'hygiène et documentation à l'appui. 2e édition. 1050 p.

OMS, 2007 : Organisation Mondiale de la Santé. Food safety and foodborne illness. Fact sheet. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse. 237p.

OMS, 1994 : Organisation mondiale de la Santé. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume 1 – recommandations. 2e édition. 202p.

OMS, 2020 : Organisation Mondiale de la Santé. Sécurité sanitaire des aliments. Disponible à l'adresse : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> (page consultée le 04-10-2021).

OMS, 2021 : Organisation Mondiale de la Santé. L'OMS intensifie son action pour améliorer la sécurité sanitaire des aliments et protéger les populations contre les maladies.

Disponible à l'adresse : <https://www.who.int/fr/news/item/07-06-2021-who-steps-up-action-to-improve-food-safety-and-protect-people-from-disease> (page consultée le 04-10-2021) :

Orskov F, 1984: Serotyping of *Escherichia coli*. Methods Microbiol. 14: 43-112.

Ouali A, 1991 : Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande. INRA Productions Animales. INRA. Paris. 4 (3) : 195-208.

Rabot C, 1998 : Vitesse de croissance et caractéristiques lipidiques et sensorielles des muscles de poulet. Thèse de 3^è cycle. Institut national agronomique. Paris-Grignon.

Robertson W, 1995 : Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable. Dans : Air intérieur et Eau potable. Presses de l'Université Laval. p179-193.

Rosset R, 1982 : Les méthodes de décontamination des viandes : traitement divers. Hygiène et technologie de la viande fraîche. p193-202.

Rosset R, Lameloise P, Roussel-Ciquard N, 1984 : La tendreté de la viande. Actualités Scientifiques et Techniques en Industries Agro-Alimentaires. CDIUPA MASSY. 234 p.

Santé-Canada, 1991 : La qualité bactériologique. Document de support aux « recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada ». Disponible à l'adresse : www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/dpc_eau_qualite/eauguide.htm.

Santé-Canada, 2006 : Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : les trihalométhanes. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-trihalomethanes.html>

Santé-Canada, 2012 : Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique - la turbidité. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-turbidite.html>

Savage OC, 1977: Microbial ecology of the gastrointestinal tract. Ann. Rev. Microbiol. 31: 107-133.

Shackelford S.D, Koohmaraie M, Whipple G, Wheeler T.L, Miller M.F, Crouse J.D, Reagan J.O., 1991: Predictors of beef tenderness - development and verification. Journal of Food Science 56 (5): 1130-1135.

Sojkaw J, 1965: *Escherichia coli* in domestic animals and poultry. Part In : General characteristics and biochemical behaviour of *Escherichia coli*. Commonwealth Agricultural Bureaux : Farnham Royal. 1:63.

Sutra L, Federighi M, Jouve JL, 1998: Manuel de bactériologie alimentaire. Ed. Polytechnica (Paris). 292p.

WHO, 2011: Guidelines for drinking-water quality Third edition incorporating the first and second addenda, volume 1, Recommendations. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/ .