

QUALITE MICROBIOLOGIQUE DE PRODUITS DE VOLAILLE ET MOYENS DE MAITRISE

Planchon Stella¹, Guillou Sandrine²

¹CTCPA - Site Agroparc – 449 avenue Clément Ader BP21203 – 84911 Avignon,

²INRAE, Oniris, SECALIM - Route de Gachet - 44307 NANTES

Courriels auteurs : splanchon@ctcpa.org et sandrine.guillou@inrae.fr

RÉSUMÉ

La qualité microbiologique des produits de volaille (poules, dindes et canards) dépend de nombreux facteurs et en premier lieu de la composition du microbiote du tractus digestif des volailles. La contamination des viandes a lieu au cours de l'abattage à l'occasion d'un transfert vers le muscle, des microorganismes présents en grand nombre dans le tube digestif des animaux abattus et à la surface de la peau de l'animal. La grande majorité des bactéries présentes sur la viande ne sont pas pathogènes et leurs activités métaboliques à l'origine de phénomènes d'altération, limitent considérablement la durée de vie de ces produits. Parmi les bactéries pathogènes, *Campylobacter* et *Salmonella* sont les deux agents pathogènes les plus prévalents des viandes de volaille. Elles sont aussi les deux bactéries responsables du plus grand nombre de zoonoses dans l'Union Européenne. Des études d'appréciation des risques microbiologiques ont permis d'identifier les étapes particulièrement à risque au regard de ces deux pathogènes depuis l'élevage jusqu'au consommateur, et de quantifier l'effet de mesures de maîtrise sur la réduction de ces risques. Les guides de bonnes pratiques hygiéniques, la réglementation, ainsi que l'utilisation de procédés de préservation thermiques ou athermiques, concourent à l'obtention de produits de volailles transformés ou non transformés, sans risque pour le consommateur.

ABSTRACT

The microbiological quality of poultry products (hens, turkeys and ducks) depends on many factors and first of all on the composition of the microbiota of the digestive tract of poultry. Contamination of meat occurs during slaughter when microorganisms present in large numbers in the digestive tract of slaughtered animals and on the surface of the animal's skin are transferred to the muscle. The vast majority of bacteria present on meat are not pathogenic and their metabolic activities, which cause spoilage phenomena, considerably limit the shelf-life of these products. Among pathogenic bacteria, *Campylobacter* and *Salmonella* are the two most prevalent pathogens of poultry meat. They are also the two bacteria responsible for the greatest number of zoonoses in the European Union. Microbiological risk assessment studies have made it possible to identify the stages particularly at risk with regard to these two pathogens, from breeding to the consumer, and to quantify the effect of mitigation measures on the reduction of these risks. Guides to good hygiene practices, regulations, as well as the use of thermal or non-thermal preservation processes, contribute to obtaining processed or unprocessed poultry products without risk to the consumer.

INTRODUCTION

La consommation mondiale de viande de volailles (poulet, dinde, canard) a rapidement augmenté au cours des dernières décennies et devrait encore augmenter au cours de la prochaine (OCDE, 2021). Le poulet représente 75% des viandes de volailles consommées en France, suivi par la dinde (15%) et le canard (7%) (Figure 1). La viande de volaille, deuxième viande la plus consommée en France après la viande de porc, (27,6 kg/hab. en 2019) avec une hausse de 73 % en moins de 40 ans, maintient une bonne place dans les régimes alimentaires et sa consommation reste en constante augmentation, alors que celle des viandes de bœuf et de porc est en déclin (FranceAgriMer, 2020). La maîtrise de la qualité et de la sécurité microbiologiques de ces denrées alimentaires constitue par conséquent un enjeu majeur en termes de santé publique.

1. LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE ET L'ORIGINE DES CONTAMINATIONS MICROBIENNES

1.1. Introduction

La qualité microbiologique des produits de volaille dépend de nombreux facteurs et en premier lieu de la composition du microbiote du tractus digestif des volailles. La composition du microbiote dépend de la génétique de l'hôte et de l'environnement (Broom and Kogut, 2018). Elle va notamment être impactée par l'alimentation que va suivre l'animal au cours de sa croissance (Vasai, 2013).

La contamination des viandes a lieu au cours de l'abattage à l'occasion d'un transfert des microorganismes présents en grand nombre dans le tube digestif des animaux abattus et à la surface de la peau de l'animal. En effet, les étapes de plumeaison et d'éviscération ont été identifiées comme les deux étapes clés au niveau de l'abattoir, susceptibles de contaminer les carcasses (Buess et al., 2019). La viande fournit des conditions nutritionnelles et physico-chimiques favorables à la croissance de nombreux microorganismes (levures, moisissures et bactéries). Certains microorganismes dits pathogènes peuvent engendrer des toxi-infections alimentaires comme *Salmonella* spp. ou encore *Campylobacter* spp. Tandis que le métabolisme d'autres microorganismes conduit à des phénomènes d'altération microbiologique au cours de la conservation des produits de volaille. La modification de la couleur, de la texture, l'apparition d'odeurs ou de goûts désagréables rendent le produit impropre à la consommation et conditionnent la durée de vie des produits.

1.2. Le microbiote du tractus gastro-intestinal

Le tractus gastro-intestinal des volailles comprend plusieurs régions qui n'ont pas la même fonction : le jabot (moins développé chez le canard), le proventricule, le gésier, le duodénum, le jéjunum, l'iléon, les caeca (plus petits chez le canard), le gros intestin (« colorectum ») et le cloaque (Figure 2).

Le microbiome des poulets de chair n'a pas la même composition en fonction de ces régions anatomiques et il n'y règne pas les mêmes conditions. Les lactobacilles prédominent dans le jabot et assurent la décomposition de l'amidon et la fermentation du lactate. Des espèces de *Clostridium* sont également présentes dans cette région. Le gésier est également dominé par les *Clostridium* et les *Lactobacillus*. Cependant, la principale différence entre les deux organes est la présence dans le gésier, de jus gastriques, de pepsine et d'acide chlorhydrique qui acidifient le milieu et limitent le nombre de bactéries et les activités fermentaires. L'intestin grêle a la plus forte concentration de cellules bactériennes, principalement *Lactobacillus*, *Enterococcus* et diverses *Clostridiaceae*; *Lactobacillus* est le genre dominant. Les caeca hébergent en plus grand nombre des bactéries anaérobies strictes. Les caeca sont les organes avec la plus grande abondance et diversité taxonomique du fait que cet organe retient la nourriture pendant la plus longue période (12 à 20 h). La présence dans les caeca d'hydrogénase, qui semble stimuler la production d'acides gras à chaîne courte, est corrélée à la présence de micro-organismes abondants (*Megamonas*, *Helicobacter* et *Campylobacter*) (Anses, 2018b; Oakley et al., 2014).

Les données de microbiote sont plus abondantes pour les volailles de type poulet et dinde que pour le canard. Dans les microbiotes de poulets et de dinde, cent dix-sept et soixante-neuf genres appartenant à treize phyla, ont été recensés respectivement (Wei et al., 2013). Les phyla dominants sont les Firmicutes, *Bacteroides*, et *Proteobacteria* et les genres dominants sont *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Lactobacillus*, et *Bacteroidetes*, avec une distribution cependant différente entre le poulet et la dinde. Le genre bactérien dominant du microbiote du poulet est *Lactobacillus*, principalement dans le jabot et le gésier (Marmion et al., 2021). Par ailleurs, la composition des microbiotes varie tout au long de la vie des poulets, et davantage durant les premières semaines de vie correspondant aux étapes de colonisation (Kers et al., 2018). Le microbiote est d'abord dominé par des protéobactéries dans les premiers stades de la vie des poussins puis au moment de l'abattage, ce sont les Firmicutes qui dominent dans une proportion d'environ 70-80% (Marmion et al., 2021). La concentration des caeca peut atteindre 10^{11} cellules par gramme (Broom et al., 2018). Le microbiote intestinal des poulets de chair héberge également des bactéries pathogènes qui peuvent poser des problèmes de santé publique vétérinaire et humaine. Parmi les pathogènes

responsables de toxi-infections humaines, on compte *Campylobacter* (principalement *Campylobacter jejuni* et *Campylobacter coli*), *Salmonella*, *Escherichia coli* et *Clostridium perfringens* (Oakley et al., 2014). La concentration en *Campylobacter* dans le tractus digestif des volailles peut atteindre 10^7 UFC/g mais il est généralement asymptomatique pour les oiseaux. Ce n'est pas le cas de *Salmonella enterica* qui peut provoquer des maladies chez les poulets, selon l'âge, le statut immunitaire et le sérovar (Clavijo and Flórez, 2018). La contamination par *Salmonella* peut se faire via l'alimentation, l'eau et par l'Homme (bottes et outils) (Machado Junior et al., 2020).

L'environnement microaérobie créé dans la muqueuse du tractus gastro-intestinal contribue à la survie des espèces microaérobies, telles que *Campylobacter* spp., (Zhang et al., 2018). De manière générale, le microbiote des poulets de chair dépend de nombreux facteurs (Figure 3) : des conditions climatiques, du mode d'élevage (plein-air ou confinés), de la densité des troupeaux, de l'accès des animaux à l'extérieur et potentiellement de leur exposition à des vecteurs sauvages, de la nature de la litière, des pratiques agricoles, et globalement de tous les facteurs susceptibles d'affecter le bien-être animal et générer un stress. La localisation géographique influence le microbiome du fait du climat et de l'exposition à la faune sauvage (Shi et al., 2019). Les saisons ont également une influence sur la composition du microbiome du fait de la prolifération de certaines espèces de bactéries et de la présence plus importante de vecteurs de contamination comme les mouches. Des pics saisonniers caractéristiques de *Campylobacter* sont notamment observés en été (Duqué et al., 2018). Le stress des poulets dû aux températures élevées conduit également à des niveaux plus élevés de *Salmonella* (Marmion et al., 2021). Le microbiote peut également varier en fonction des lignées génétiques des poulets (Kers et al., 2018). Plusieurs études ont également reporté une influence du sexe et du génotype des poulets de chair sur la composition de leur microbiote, avec une influence notamment sur les espèces de *Lactobacillus* (Kers et al., 2018; Zhao et al., 2013).

Le régime alimentaire a un impact très important sur le microbiote intestinal en termes de diversité et de composition pour les poulets (Anses, 2018b; Borda-Molina et al., 2018; Haberecht et al., 2020). Il est généralement à base de céréales et peu digeste, ce qui favorise les microorganismes qui peuvent utiliser les nutriments disponibles dans le tractus digestif, comme les céréales diététiques avec différents niveaux d'arabinoxylanes (Borda-Molina et al., 2018).

Chez le canard, l'étape de gavage (à base de maïs principalement), réalisé à onze semaines de vie, a également un impact sur l'évolution de la flore intestinale (Vasai, 2013). Les auteurs ont montré que le gavage augmentait la concentration en *Clostridiaceae*,

Lactobacillaceae, *Streptococcaceae* et *Enterococcaceae* dans l'iléon tandis que les *Lachnospiraceae*, *Bacteroidia* et *Desulfovibrio* augmentaient dans les caeca. De même, l'utilisation de probiotiques de type *Lactobacillus sakei* impactait fortement la flore au niveau de l'iléon mais pas des caeca (Vasai et al., 2014).

1.3. Influence du transport

Préalablement au transport, la nourriture des animaux est retirée pour limiter leur défécation et la contamination des poulets dans les cages de transport par leurs matières fécales. Cette pratique peut permettre de limiter la contamination des poulets lors de l'étape d'éviscération, si malencontreusement, les contenus digestifs étaient percés. Cependant, si les durées de jeûne sont supérieures à douze heures, on observe des risques de détérioration de l'état et de l'intégrité des viscères et une augmentation de la fluidité du contenu gastro-intestinal, et ainsi un risque accru de contamination fécale des carcasses (Anses, 2018b).

L'étape de transport est relativement stressante pour les animaux d'autant plus qu'ils sont entassés et soumis à des températures élevées. Ce stress favorise la sécrétion d'hormones de stress et de corticostérone qui induisent des modifications du comportement en augmentant le picage, la défécation et en réduisant les fonctions gastro-intestinales (Afnor, 2018; Marmion et al., 2021). Les caisses de transport présentent des anfractuosités favorables à l'accumulation de souillures difficiles à nettoyer et susceptibles de favoriser la formation de biofilms de *Campylobacter* (Anses, 2018b).

1.4. Influence de l'abattage

L'abattage comprend plusieurs étapes : l'étourdissement, la saignée, l'échaudage, la plumaison, l'éviscération et le ressuage. L'étape de saignée a été identifiée comme une étape critique responsable de la plus forte contamination de *Salmonella* (Boubendir et al., 2020; Rivera-Pérez et al., 2014). L'humidité produite par les jets de nettoyage haute pression crée des conditions favorables à la dissémination et la survie de bactéries altérantes, notamment les bactéries lactiques présentes dans ces aérosols (Samapundo et al., 2019).

Lors de l'échaudage, les carcasses sont plongées dans un bain d'eau chaude à une température d'environ 52-54°C pour les poulets de chair et 63°C pour les canards. Cette étape facilite la plumaison. Elle a été identifiée comme étape critique car elle favorise les contaminations croisées (Rothrock et al., 2016). La température de l'échaudage relativement élevée permettrait de réduire le niveau de contamination par *Campylobacter* (Guerin et al., 2010; Pacholewicz et al., 2015).

La plumaison se fait dans la plupart des installations de manière mécanique à l'aide de doigts en caoutchouc rigide qui peuvent servir de vecteurs de contamination des microorganismes présents dans les matières fécales, la poussière et les souillures des plumes, notamment *Campylobacter*. Les doigts des plumeuses peuvent être difficiles à nettoyer par leur configuration en doigts dentelés et être une source de contamination, notamment de *Staphylococcus* spp. et particulier du pathogène *S. aureus* ((DGAL [Direction de l'Information Légale et Administrative], 2010). Des cires de plumaisons peuvent être utilisées également en combinaison ou non avec les doigts mécaniques pour la plumaison des canards. Utilisée en surfusion à des températures de 70-80°C pour réduire les risques microbiologiques (excepté pour les spores bactériennes), elle est ensuite retirée mécaniquement ou manuellement, puis refroidie. Les dernières plumes peuvent être enlevées manuellement ou à l'aide d'une étape de flambage pour le canard. Cette étape peut impacter la peau des volailles (rétractation) mais permet une décontamination non négligeable de la surface des carcasses. La plumaison est considérée comme le premier des deux principaux points de contamination bactérienne des carcasses, la seconde étant l'éviscération (Anses, 2018b; Guerin et al., 2010). Les aérosols formés lors de cette étape par l'utilisation de jets d'eau pour éliminer les plumes en continu, favorisent également la contamination par *Campylobacter* (Anses, 2018b). La contamination croisée des carcasses par *Campylobacter* durant l'étape de plumaison a été modélisée par Hartnett et al. (2001) et illustrée par Hayama et al. (2011). Ae Kim et al. (2017) ont également identifié cette étape comme responsable de l'augmentation de la prévalence des carcasses en *Campylobacter* et en *Salmonella*.

L'éviscération est l'étape susceptible de contaminer le plus les carcasses du fait du risque de perforation des contenus digestifs. C'est une étape critique au regard du risque de contamination par *Salmonella* (Rivera-Pérez et al., 2014) et *Campylobacter* (Anses, 2018b; Guerin et al., 2010; Seliwiorstow et al., 2016). *Campylobacter* peut également être transmis lors de cette étape par contamination croisée, entre carcasses et entre carcasses et l'environnement, notamment via les surfaces et les équipements (Nauta et al., 2005). La présence de microorganismes d'altération peut aussi poser un problème lors de la conservation des foies/abats qu'ils soient utilisés en frais (cas de *Pseudomonas*, *Brochothrix*) ou traités thermiquement (sporulés d'altération, § 2.2).

Après l'éviscération (foies, viscères, cœurs et gésiers), des **lavages** internes et externes de la carcasse sont souvent effectués pour éliminer les souillures, débris organiques et résidus liés à l'éviscération (FAO/WHO [Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization], 2009b; Marmion et al., 2021).

Immédiatement après l'éviscération, les carcasses doivent subir un refroidissement rapide par air ventilé froid, **le ressuage**. Il est souvent associé à une ou plusieurs pulvérisations d'eau pour faciliter le refroidissement par évaporation de l'eau en surface des carcasses mais aussi pour éviter une perte de poids excessive lors de cette étape (FAO/WHO [Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization], 2009b). C'est une étape critique car elle peut permettre la réduction des concentrations en *Campylobacter* et en psychrotrophes aérobies et donc potentiellement en bactéries altérantes et pathogènes (Ae Kim et al., 2017). Le refroidissement par air peut permettre de réduire les concentrations d'*E. coli* et de coliformes des carcasses de 0,9 unité log, 1,4 log UFC/ml de *Campylobacter* et 1 log UFC/ml de *Salmonella* (Huezo et al., 2007). La diminution du niveau de contamination de *Campylobacter* serait due à l'effet desséchant de l'air (Pacholewicz et al., 2015). L'étape de ressuage a également été identifiée comme une étape de contamination du fait de phénomènes de condensation sur les murs par des bactéries lactiques psychrophiles, *Pseudomonas* et *Listeria* spp., bactéries pathogènes (Chen et al., 2020; Marmion et al., 2021). Le ressuage en bain d'eau froide n'est pas autorisé en Europe, excepté pour les produits destinés à une exportation en dehors de l'Europe.

1.5. Influence du procédé de transformation

Les produits sont ensuite commercialisés sous différentes formes : carcasses entières ou découpes, produits transformés. Ils peuvent être conditionnés en vrac, sous skin, ou sous atmosphère protectrice. Le type de conditionnement jouera un rôle sur la composition du microbiote du produit fini (cf. 2.1 et 2.2).

2. LES RISQUES MICROBIOLOGIQUES PATHOGENES ET D'ALTERATION

2.1. Les risques pathogènes

Largement sous-estimé, le fardeau des maladies d'origine alimentaire est un problème de santé publique au niveau mondial, avec environ 600 millions de cas et 420 000 décès chaque année, dans le monde (World Health Organization, 2015). ***Campylobacter* et *Salmonella*** se situent dans le top 3 des agents pathogènes responsables de la plus grande charge de morbidité associée à la consommation de denrées d'origine animale, avec une perte de 27 DALYs (Disability-Adjusted Life Years) pour 100 000 habitants, dont 13 associés à la consommation de viande de volaille pour *Campylobacter*, et 49 DALYs pour 100 000 habitants, dont 17 associés à la viande de volaille, pour *Salmonella* (Li et al., 2019) (Figure 4).

Dans l'Union européenne (UE), *Campylobacter* a été signalé comme la cause principale

de zoonoses (alimentaires ou non) au cours des dix dernières années (EFSA and ECDC, 2019). La campylobactériose associée à une infection à *Campylobacter*, se caractérise par une diarrhée, des crampes abdominales et de la fièvre. Dans de rares cas, ces symptômes sont suivis de complications comme les syndromes de Guillain-Barré et de Miller-Fischer (Nachamkin et al., 1998). En termes de prévalence, en France, en 2008, 72% des élevages de poulets de chair étaient positifs à *Campylobacter* dont 40.5% pour *C. jejuni* et 29.8% pour *C. coli* (Allain et al., 2014). En 2010, 88% des carcasses de poulet de chair étaient positives à *Campylobacter* (EFSA, 2010; Hue et al., 2010).

La viande de poulet de chair et le lait représentent les deux causes les plus fréquemment associées aux cas de campylobactériose d'origine alimentaire en Europe entre 2010 et 2018 (EFSA et al., 2019). Les foyers à *Campylobacter* concernent majoritairement la volaille (52 % entre 2006 et 2015 et 40% en 2019) (Anses, 2018a ; Santé Publique France, 2020a). Dans plusieurs pays, le couple *Campylobacter* spp.- volaille est le couple pathogène - aliment qui a le plus d'impact sur les systèmes économiques et de santé avec 608 237 malades, 6 091 hospitalisations et 55 décès (Anses, 2020 ; Batz et al., 2012).

Salmonella constitue la seconde cause de zoonoses au cours des dix dernières années dans l'UE (EFSA et al., 2019). Les foyers de salmonellose sont le plus souvent associés à la catégorie des œufs et des ovoproduits (45.8%), la viande de volaille ne représentant que 8.0 % entre 2006 et 2015 et 2% en 2020 des foyers (Anses, 2018a; Santé Publique France, 2020b). Le couple *Salmonella enterica* – volaille se situe au rang 4 du classement des combinaisons pathogène – aliment qui ont le plus d'impact sur les systèmes économiques et de santé, avec 215 109 malades, 4 048 hospitalisations et 79 décès (Anses, 2020 ; Batz et al., 2012). En termes de prévalence, en 2005-2006, 8.6% des élevages de poulet étaient positifs à *Salmonella* en France (Le Bouquin et al., 2010). En 2010, 7.4% des carcasses de poulet de chair étaient positives à *Salmonella* (EFSA, 2010; Hue et al., 2010). Au sein de l'espèce *Salmonella enterica*, des sérotypes sont spécifiques et adaptés à une seule ou à quelques espèces animales seulement, par exemple *Salmonella enterica* sérotype Dublin chez les bovins et *Salmonella enterica* sérotype Choleraesuis chez le porc. Deux sérotypes de *Salmonella enterica* sont reconnus comme des pathogènes alimentaires : *Salmonella enterica* sérotype Enteritidis et *Salmonella enterica* sérotype Typhimurium. *Salmonella* spp a été responsable de 43% des TIAC en France en 2020 (Santé Publique France, 2020b).

D'un point de vue quantitatif, *Campylobacter* et *Salmonella* sont par conséquent les deux agents pathogènes les plus prévalents des viandes de volaille (Mead, 2004). Cinq autres agents bactériens pathogènes également répertoriés chez la volaille :

Clostridium perfringens, *Clostridium botulinum* type C/D, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* O157 (Anses, 2021a; Fries-Craft et al., 2021; Marmion et al., 2021; Mead, 2004; Souillard et al., 2021). La plupart de ces agents pathogènes sont résidents du tube digestif des volailles, excepté *S. aureus* qui se trouve sur les lésions de la peau et le tractus respiratoire des volailles. La prévalence de *L. monocytogenes* dans les troupeaux de volaille est assez élevée (32%) (Chemaly et al., 2008) mais les études relatives à *L. monocytogenes* reposent beaucoup sur les contaminations au cours des étapes de transformation et le lien est rarement fait avec la production primaire pour expliquer la persistance de *L. monocytogenes* sur les produits transformés du fait de son caractère ubiquitaire dans différents types d'environnements alimentaires (Rothrock et al., 2017).

2.2. Les risques d'altération

On insiste plus souvent sur la présence de bactéries pathogènes, mais l'immense majorité des bactéries qui composent le microbiote de la viande de volaille ne sont pas pathogènes. Certaines bactéries sont responsables de phénomènes d'altération. Le métabolisme de ces bactéries induit des modifications de couleur, d'odeurs, de texture indésirables, qui limitent la durée de vie des produits. L'origine de la contamination de la viande de volaille peut être multiple. Le tractus digestif des volailles constitue une de ces sources (cf. 1.2). L'ensemble des étapes de transformation depuis l'abattage jusqu'aux étapes de découpes peut constituer des sources de contamination par l'air et l'environnement de l'usine, les machines et les personnels.

Ainsi le microbiote initial de la viande de volaille comprend généralement les bactéries des genres *Pseudomonas*, *Acinetobacter* et *Lactobacillus*, *Brochothrix thermosphacta* et les *Enterobacteriaceae*, (Marmion et al., 2021). On retrouve aussi fréquemment *Shewanella putrefaciens* sur les carcasses de poulets de chair (Hinton et al., 2004 ; Li et al., 2020). Au sein des Entérobactéries, les principaux genres sont *Hafnia* (*Hafnia alvei*, *Hafnia paralvei*), *Serratia* (*Serratia fonticola*, *Serratia grimesii*, *Serratia liquefaciens*, *Serratia proteamaculans*, et *Serratia quinivorans*), *Rahnella*, *Yersinia*, et *Buttiauxella* (Rouger et al., 2017 ; Sæde et al., 2013). Ce sont ensuite les conditions de stockage (température, type de conditionnement et atmosphère d'emballage), qui vont influencer la composition du microbiote du produit fini. *Pseudomonas* est généralement présent lorsque la viande est stockée en présence d'oxygène (Li et al., 2020 ; Mead, 2004; Rouger et al., 2017). La présence de dioxyde de carbone dans les atmosphères protectrices inhibe le développement des *Pseudomonas* et est plus favorable aux bactéries lactiques (Mead, 2004; Rouger et al., 2017). *Br. thermosphacta* est très souvent associé à la flore dominante des produits carnés réfrigérés car il a la possibilité de se multiplier

à la fois en présence d'oxygène et sous vide (Casaburi et al., 2014).

Concernant la viande de canard, la découpe est entièrement manuelle et se réalise par une succession d'opérateurs à l'aide de matériels spécifiques. Pour la viande de canard non transformée et le foie gras cru, les principales bactéries d'altération sont les Entérobactéries et les bactéries lactiques. Ces flores prédominent à l'abattage, notamment sur les foies après éviscération (Planchon et al., 2018). Ces bactéries végétatives ne sont plus retrouvées dans le foie gras pasteurisé après un traitement thermique supérieur à 40 minutes à 70°C (ou un traitement équivalent). Elles laissent la place aux bactéries sporulées dont certaines peuvent entraîner des pertes économiques importantes. Ces bactéries sporulées appartiennent principalement au genre *Clostridium* avec deux espèces plus fréquemment isolées : *Clostridium bowmanii* et *Clostridium algidicarnis* (Planchon et al., 2021). Ces espèces sont responsables d'odeurs de putréfaction et/ou de noircissement de produits durant leur conservation à basse température.

Le foie gras pasteurisé peut être reconditionné (en tranches), et cette opération de conditionnement, est réalisée dans des salles « propres ». Néanmoins, une flore lactique peut se développer tout au long de la conservation des foies gras et limiter la date limite de consommation (DLC) du fait de l'apparition de défauts organoleptiques et d'odeurs acides (Matamoros et al., 2010).

Pour les produits de canard transformés (confit de canard, foie gras stérilisé), des flores sporulées appartenant principalement au genre *Clostridium* ont été identifiées (André, 2015). D'autres flores sporulées comme *Bacillus coagulans* et *Thermoanaerobacterium* spp ont également été isolées dans des produits altérés. Ces flores sporulées ne sont pas détruites lors des traitements thermiques utilisés par la profession à cause de leur importante résistance thermique.

3. LES MOYENS DE MAÎTRISE DE LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE

Pour évaluer les risques associés à la présence de dangers bactériens dans les aliments et évaluer les mesures de maîtrise qui permettraient de réduire ces risques, l'Appréciation Quantitative des Risques Microbiologiques (AQRM) est la méthode de choix. Il s'agit d'une approche structurée qui permet d'estimer la probabilité d'être malade en fonction de la quantité d'aliments ingérée. Elle consiste à déterminer le niveau de contamination d'agents pathogènes comme *Campylobacter* ou *Salmonella*, à chaque étape de la chaîne de transformation des aliments, depuis la production à la ferme jusqu'aux étapes de transformation du produit fini. Cette quantification permet d'identifier les étapes particulièrement à

risques en termes de contamination ou de croissance bactérienne, et de quantifier l'efficacité de mesures d'intervention ou de maîtrise sur la réduction du risque en nombre de cas de maladie. Khalid et al. (2020) ont recensé les études d'AQRM relatives à *Campylobacter* et *Salmonella* dans la filière volaille. Cette revue comprend notamment l'AQRM de l'EFSA sur *Campylobacter*, basée sur les données de quatre pays et une AQRM effectuée par le groupe d'experts BioRisk de l'Anses, pour évaluer les risques et l'efficacité de mesures de maîtrise relatifs au danger *Campylobacter* dans la filière volaille (Anses, 2018b ; EFSA, 2011). Inspirés par ces différentes études, des recommandations et des guides de bonnes pratiques ont été rédigés. La maîtrise de la qualité microbiologique des produits finis réside principalement dans **l'utilisation de bonnes pratiques d'hygiène** (Règlement (CE) n°178/2002 du Paquet Hygiène) tout au long de la chaîne, depuis l'élevage jusqu'au conditionnement du produit fini (Afssa, 2008; Afssa, 2009 ; CIFO [Comité Interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras], 2016; DGAL [Direction de l'Information Légale et Administrative], 2010). Un guide du Codex Alimentarius a également été rédigé en 2011 pour le contrôle de *Campylobacter* et de *Salmonella* dans la viande de poulet de chair (FAO/WHO [Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization], 2009a). Des guides ont également été rédigés aux États-Unis (FSIS/USDA [Food Safety and Inspection Service], 2021a; FSIS/USDA [Food Safety and Inspection Service], 2021b).

En premier lieu, les moyens de maîtrise doivent être appliqués à la ferme au niveau de l'élevage pour réduire le portage des agents pathogènes par les animaux vivants, principalement *Campylobacter* et *Salmonella*, notamment en contrôlant les facteurs qui favorisent la transmission verticale et horizontale des pathogènes durant la production des œufs, l'éclosion et la croissance, qui réduisent sensiblement la prévalence de ces pathogènes sur les carcasses (International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF), 2011). Les règles d'hygiène ainsi que le bien-être animal dans les élevages sont strictement réglementés (Directive 98/58/CE) et font l'objet d'un projet de Guide de Bonnes Pratiques de protection animale en abattoirs volaille (Anses, 2021c).

L'AQRM réalisée par l'EFSA indique que la maîtrise de *Campylobacter* au niveau de la production primaire est susceptible d'avoir plus d'impact sur la réduction du risque que des mesures appliquées à des stades plus avancés de la chaîne (EFSA, 2011). L'élevage est en effet la première source de contamination. Les premiers moyens de maîtrise consistent donc d'abord à réduire le portage des animaux vivants. Les mesures susceptibles d'être les plus efficaces sont les mesures de biosécurité (Arrêté Biosécurité du 29 septembre 2021), et la mise en place d'écrans de protection vis-à-vis des mouches, la

limitation de l'âge d'abattage des poulets à 28 jours en intérieur, et le détassage discontinu (EFSA, 2011). Les actions de biosécurité visent à prévenir l'introduction d'agents pathogènes : **bio-exclusion**, et la diffusion des maladies déjà présentes dans l'élevage : **bio-confinement** (Zeghar, 2019). Une partie des mesures de biosécurité concerne l'hygiène des bâtiments, des litières, de la nourriture, des cages... L'Anses et l'EFSA indiquent que si la concentration en *Campylobacter* des intestins pouvait être abaissée de 2.5 ou 3 log à l'abattoir, cela permettrait de réduire le risque de campylobactériose d'environ 90% (Anses, 2018b; EFSA, 2011). Les études sur l'utilisation d'additifs (liste réglementée par le Règlement (CE) n° 1831/2003) dans l'eau ou l'alimentation, sur la vaccination (tentatives réalisées par l'Anses (Meunier et al., 2016)), ou sur l'administration de bactériocines ou de bactériophages, sont donc à poursuivre. A noter que l'usage de vaccins inactivés est possible aujourd'hui pour réduire le risque lié aux salmonelles chez les poulets et les dindes de chair (Arrêté du 26 février 2008) mais le dépistage reste préconisé (EFSA, 2004).

Certaines contaminations sont plus difficiles à contrôler en élevage en plein air, notamment celles issues de l'environnement extérieur apportées principalement par les oiseaux migrateurs. La **surveillance quotidienne** des troupeaux doit être réalisée conjointement par les vétérinaires, les éleveurs et les techniciens vétérinaires et reste de mise afin d'identifier l'apparition de signes cliniques atypiques et écarter les animaux malades. Une **visite sanitaire** doit être réalisée tous les deux ans dans les élevages de plus de 250 volailles (Instruction technique DGA/SDSPA/2020-564 et Règlement (UE) 2016/429). Spécifiquement pour la maîtrise des salmonelles, depuis le 1^{er} janvier 2006, une **fiche d'Identification de la Chaîne Alimentaire** (ICA) spécifiant les critères d'alerte à rechercher et à notifier aux services vétérinaires, a été mise en place (Note de services DGAL/SDSSA/N2012-8167; Règlements (CE) n°2160/2003 et N°646/2007). La fiche ICA remplie sous la responsabilité de l'éleveur, doit être transmise au moins 24 heures avant l'arrivée du lot à l'abattoir et est valable cinq jours. Ce document essentiel au contrôle *ante mortem* des lots d'animaux, reprend un certain nombre d'informations relatives aux analyses de salmonelles et au bien-être animal. Cinq serovars de salmonelles font l'objet d'un dépistage obligatoire : Enteritidis, Typhimurium, Hadar, Infantis et Virchow (Arrêté du 26 février 2008 relatif à la lutte contre les infections à *Salmonella*). Si un des critères de l'ICA est en alerte, l'abatteur doit demander l'expertise des services vétérinaires d'inspection (SVI). Pour éviter la contamination des autres lots lors du transfert des contenus digestifs, l'abattage des lots positifs aux salmonelles est généralement effectué en fin de chaîne et les abats à l'exception du cœur des volailles issues d'un troupeau confirmé infecté sont

déclassés comme des sous-produits animaux (Arrêté du 26 février 2008).

La deuxième source de contamination a lieu lors du transport, les animaux sont rassemblés dans des caisses souillées par des excréments et elles sont superposées dans des camions. Le retrait de nourriture à la ferme permet de réaliser un jeûne susceptible de favoriser la clairance du tractus gastro-intestinal (Seliwiorstow et al., 2016). La durée de mise à jeun est obligatoirement inférieure à 12h (Règlement (CE) n°1/2005). La durée optimale du jeûne au regard du risque, semble varier selon les auteurs : de 9 – 12h (Northcutt et al., 1997) à 6 heures seulement (Xue et al., 2021). L'étude Anses a attribué une réduction marginale du risque de campylobactériose (moins de 5%) à une optimisation de la durée du jeûne (Anses, 2018b). Depuis la grippe aviaire, un lavage et une désinfection des caisses et des camions est systématique pour les élevages de volailles et de palmipèdes (CIFOG [Comité Interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras], 2018; Consortium du projet des guides pour le Transport des animaux, 2017).

Au niveau de l'abattoir, l'étude EFSA indique que si la concentration en *Campylobacter* des carcasses au niveau de l'abattoir, pouvait être abaissée d'1 log, cela permettrait de réduire le risque de campylobactériose entre 50% et 90% (EFSA, 2011). Cependant l'efficacité des mesures d'hygiène est difficile à quantifier. Plusieurs options de décontamination des carcasses vraisemblablement en post-ressuage, sont évoquées dans ce rapport, notamment le recours à une décontamination à l'eau additionnée d'agents chimiques actuellement non autorisés en UE, ou avec de l'eau à 80°C pendant 20 s, une congélation de plusieurs semaines, une congélation de surface ou « croutage », et l'utilisation de méthodes à ultrasons et / ou vapeur, dont l'efficacité reste à évaluer. Aux Etats unis, la décontamination des carcasses au chlore est autorisée mais pas en Europe. Pour les produits à base de volaille transformés, un procédé permettant de réduire 7 log UFC/g de *Salmonella* spp. est requis pour la sécurisation des produits dans la réglementation américaine.

Si on s'en tient aux étapes existantes du procédé d'abattage en Europe, la plumaison réalisée mécaniquement peut entraîner une augmentation de la contamination des carcasses par les doigts des plumeuses par l'intermédiaire des souillures ou par les aérosols produits. Des mesures de maîtrise mises en place à cette étape, permettant de réduire de 10% la contamination fécale des carcasses, réduiraient le risque de campylobactériose de 4% (Anses, 2018b).

L'éviscération des poulets de chair est effectuée mécaniquement dans une grande majorité des abattoirs. Ce n'est pas le cas de l'espèce canard. Il s'agit de l'étape la plus à risques en termes de contamination, en raison de la perforation possible des viscères. Lorsque l'éviscération est mécanique, les

mesures de maîtrise consistent à réaliser un réglage minutieux des machines, à s'assurer d'avoir des carcasses homogènes en taille, et à surveiller les « accidents » d'éviscération (souillures visibles, chapelet de viscères incomplet, etc.). La prévention de 10% de ces accidents pourrait permettre de réduire le risque de campylobactériose de seulement 3% selon l'étude Anses (Anses, 2018b). Lors de l'étape d'éviscération, les viscères (foie, cœur, gésier), la trachée, le jabot et les poumons sont extraits de la carcasse. Lors de l'éviscération des palmipèdes à foie gras, les foies sont retirés en premier manuellement puis classés. Les foies « contaminés » par du contenu intestinal doivent faire l'objet d'un tri particulier et ne pas être déposés sur les tapis de convoyage car ils provoqueraient une contamination croisée. Les carcasses et les viscères font ensuite l'objet d'une inspection *post mortem*, qui permet d'identifier des lésions anatomo-pathologiques associées à la présence de dangers microbiologiques souvent autres que *Campylobacter* et *Salmonella*, ce qui conduit au retrait des carcasses et des viscères correspondants.

L'étape de ressuage peut être considérée comme une étape de contamination microbiologique : l'air soufflé sur les carcasses peut conduire à des contaminations croisées entre les carcasses tandis que l'eau stagnante à l'intérieur des carcasses peut favoriser le développement microbien. En ce qui concerne *Campylobacter*, très sensible au froid négatif et à la dessiccation, le rapport Anses mentionne qu'une réduction d'un log de *Campylobacter* à l'aide d'une optimisation des conditions de ventilation et de froid lors de cette étape, serait susceptible de réduire le risque de campylobactériose de 76% (Anses, 2018b).

A l'issue du ressuage, des auto-contrôles sont effectués par le transformateur. Un certain nombre de critères microbiologiques doivent être respectés selon le Règlement (CE) n°2073/2005 modifié par le Règlement (UE) n°2017/1495. Il existe trois critères d'hygiène relatifs à *Salmonella* (carcasses après ressuage de volaille, de poulets de chair et dindes), *Escherichia coli* (préparations de viande) et depuis 2018, *Campylobacter* (carcasses de poulet de chair après ressuage). Le non-respect de ces critères ne conduit pas à des retraits mais nécessite que des actions d'amélioration de l'hygiène des procédés soient entreprises au niveau de l'abattoir. Il existe un seul critère de sécurité relatif à *Salmonella* (absence dans 25g), qui conduit au retrait du lot en cas de positivité.

Après ressuage, la viande peut être vendue entière prête à cuire, emballée le plus souvent sous skin, découpée et emballée ou transformée. Les étapes de découpe sont des étapes à risque du fait des possibles recontaminations par tous types de microorganismes, qu'ils soient pathogènes ou d'altération, par l'air, le matériel, les surfaces et le personnel. *L. monocytogenes* est le microorganisme pathogène le plus fréquemment rencontré dans ces ateliers de découpe réfrigérés notamment du fait de ces

propriétés d'adhésion, de formation de biofilms et de croissance à basse température. De nombreuses TIAC dues à *L. monocytogenes* ainsi que des rappels de produits sont souvent dus à des contaminations de l'environnement et des équipements de production agroalimentaire (Zoellner et al., 2018).

Concernant les bactéries d'altération, les bactéries lactiques sont omniprésentes et s'adaptent à tous types de matrices alimentaires et sont souvent responsables de la limitation des DLC des produits réfrigérés. L'hygiène des salles, des instruments de découpe, de l'air et du personnel est primordiale pour la maîtrise de la contamination des viandes fraîches.

Le stockage et/ou transport de la volaille fraîche ou des abats/foies de volaille (dont le foie gras) avant leur transformation peut entraîner une contamination supplémentaire ou un développement des flores endogènes.

La transformation des produits, intègre généralement **des traitements thermiques ou athermiques** qui permettront de réduire considérablement la charge microbienne des produits et ainsi améliorer leur qualité microbiologique. Ces traitements permettent une stabilisation microbiologique prolongée des produits alimentaires. De manière générale, les microorganismes d'altération comme les bactéries lactiques, mais également des bactéries pathogènes non sporulées, seront maîtrisées à l'aide de ces traitements. Il convient de porter une attention particulière aux toxines thermorésistantes produites par *Bacillus cereus* et *S. aureus*, qui ne seront pas détruites par les traitements thermiques ou d'autres traitements de préservation. Par ailleurs, *B. cereus* est capable de se développer au froid et d'adhérer aux surfaces en acier inoxydable (Anses, 2021b). La contamination par des bactéries sporulées, comme *B. cereus* ou encore *Clostridium* spp., nécessitera l'application de traitements thermiques adaptés plus efficaces que la pasteurisation.

Pour le traitement des produits carnés et des produits de volaille plus spécifiquement, deux types de traitement thermique peuvent être utilisés. Le premier type de traitement est la pasteurisation ; il est réalisé à une température inférieure à 100°C pour des produits acides ou non acides (Instruction technique DGAL/SDSSA/2015-364). Les produits non acides, comme les produits carnés, pasteurisés devront être conservés à basse température et faire l'objet d'une validation de durée de vie selon la norme NF V01 003 (Afnor, 2018). Le traitement de pasteurisation permet d'éliminer les microorganismes pathogènes végétatifs comme *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp., *E. coli*, *St. aureus* et *Campylobacter* spp. *Listeria* est à ce jour reconnue comme la plus résistante au traitement thermique et est utilisée comme microorganisme de référence pour les produits pasteurisés réfrigérés (ECCF [European Chilled Food Federation], 2006). *Campylobacter* est reconnu comme le plus

thermosensible des microorganismes pathogènes. L'Anses préconise une cuisson supérieure à 65°C à cœur pour les viandes de volaille pour s'affranchir du risque de campylobactériose (CES BIORISK [Comité d'Experts Evaluation des risques biologiques dans les aliments], 2020). Une destruction de 6 log UFC/g de *L. monocytogenes* est préconisée pour s'affranchir de la présence de ce pathogène à l'aide d'une pasteurisation de 2 minutes à 70°C. Ce traitement est néanmoins insuffisant pour éliminer les microorganismes végétatifs d'altération et les microorganismes pathogènes ou d'altération sporulés. Concernant les microorganismes végétatifs d'altération, une bactérie lactique est prise comme référence pour les traitements de pasteurisation, *Enterococcus faecalis* (Instruction technique DGAL/SDSSA/2015-364). Les bactéries lactiques, souvent présentes en quantité plus importante, nécessitent une pasteurisation d'au moins 40 minutes à 70°C à cœur (VP 70°C – z 10°C) pour éliminer 13 log UFC/g de cette bactérie.

Pour les microorganismes pathogènes ou d'altération sporulés, un traitement plus puissant, c'est-à-dire supérieur à 100°C, est nécessaire ; il s'agit d'une stérilisation. Ce traitement thermique s'accompagne d'une montée en pression (supérieure à la pression atmosphérique) qui permet, en synergie avec la température, de détruire les microorganismes sporulés. Le microorganisme pathogène sporulé de référence est *C. botulinum* et un traitement de 3 minutes à 121°C à cœur du produit est requis pour une destruction de 12 log UFC/g de cette bactérie. La présence des microorganismes sporulés d'altération nécessite également des traitements plus importants (supérieurs à 3 minutes à 121°C) car ils sont présents en plus grande quantité et ont aussi des valeurs de résistance thermique plus importantes comme *Clostridium sporogenes*, retrouvée dans les produits carnés en conserve comme les confits de canard ou les pâtés. Les produits traités en stérilisation peuvent être stockés à température ambiante et doivent faire l'objet de contrôle de stabilité microbiologique selon les normes NF V08 401 et NF V08 408 (Afnor, 1997a; Afnor, 1997b). La non-conformité au test d'étuvage à 32 ou 37°C doit entraîner une destruction des lots de fabrication car des microorganismes pathogènes ont pu se développer à ces températures ; et une recherche de la cause de non-conformité est requise avec l'identification du microorganisme (Instruction technique DGAL/SDSSA/2015-364).

Lors des traitements thermiques, notamment de pasteurisation, le refroidissement est également un moyen de maîtrise de l'évolution de la contamination microbiologique. Cette étape doit être la plus rapide possible c'est-à-dire mettre moins de deux heures pour passer de 63°C à des températures inférieures à 10°C (DGAL [Direction de l'Information Légale et Administrative], 2011). Ce temps est préconisé pour s'affranchir de la germination et de la reprise de croissance des bactéries sporulées. Des temps

supérieurs à deux heures nécessiteront une validation expérimentale démontrant l'absence de risque de développement de bactéries sporulées comme *B. cereus* ou *C. perfringens*. Le traitement par hautes pressions (HP) est également utilisé pour le traitement des produits transformés de volaille. Il se réalise dans un emballage étanche et souple par l'application de pressions de 3000 à 6000 bar. La pression est conduite par une circulation d'eau, de façon homogène en tout point du produit, à température réfrigérée ou ambiante, avec des cycles très courts de quelques minutes. Les produits traités par hautes pressions sont conservés à basse température et doivent faire l'objet d'une validation de durée de vie selon la norme NF V01 003 (Afnor, 2018).

Le traitement HP permet d'éliminer les microorganismes pathogènes végétatifs comme *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp, *E. coli*, *S. aureus* et *Campylobacter* spp. Néanmoins, les traitements ne permettent pas de détruire les bactéries sporulées qu'elles soient pathogènes ou d'altération. Le traitement HP est autorisé en France par l'Anses avec des traitements de 3 à 5 minutes à 6000 bars. Des traitements appliqués à des produits alimentaires au-delà de ces conditions doivent faire l'objet d'une demande d'autorisation *Novel food* auprès de l'EFSA (Règlement (CE) N° 2015/228).

CONCLUSION

La qualité microbiologique des viandes que l'on appelle désormais microbiote, n'est pas simple. Elle résulte de multiples sources de contamination tout au long de la chaîne alimentaire, depuis l'élevage jusqu'à l'assiette du consommateur. La contamination endogène du tractus digestif des volailles joue un rôle majeur dans la composition du microbiote de la viande de volaille. L'environnement des bâtiments d'élevage, des usines (air, sol, surfaces, aérosols), constituent d'autres sources de contamination parfois difficiles à contrôler. De plus, les bactéries qui persisteront *in fine* sur la viande, seront celles qui seront parvenues à se multiplier, ou à mettre en place des stratégies d'adaptation à des conditions nutritionnelles, de température, d'hygrométrie, d'atmosphère qui sont souvent éloignées des conditions optimales de leur réservoir de prédilection. Comprendre les facteurs qui influencent la structuration des communautés bactériennes reste un front de science du fait de la complexité et de la multiplicité des facteurs qui entrent en jeu. De nombreuses études ont évalué l'influence de l'élevage, de l'abattage et de la transformation sur la survie et la persistance des bactéries pathogènes telles que *Campylobacter* et *Salmonella* car assurer la sécurité sanitaire des produits de volaille est un enjeu majeur de santé publique. La compréhension et la maîtrise de l'altération microbiologique, à l'échelle du microbiote de la viande, n'est pas aussi avancée du fait de la multiplicité des facteurs qui vont affecter la qualité microbiologique des viandes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ae Kim, S., Hong Park, S., In Lee, S., Owens, C.M., Ricke, S.C. 2017. Assessment of chicken carcass microbiome responses during processing in the presence of commercial antimicrobials using a next generation sequencing approach. *Scientific Reports* 7, 43354.
- Afnor. 1997a. NF V08-001 - Microbiologie des aliments - Contrôle de la stabilité des produits appertisés et assimilés - Méthode de référence.
- Afnor. 1997b. NF V08-008 - Microbiologie des aliments - Contrôle de la stabilité des produits appertisés et assimilés - Méthode de routine.
- Afnor. 2018. NF V01-003 - Traçabilité et sécurité des aliments - Management et hygiène - Lignes directrices pour la réalisation de tests de vieillissement microbiologique - Aliments périssables réfrigérés.
- Afssa. 2008. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à un projet de guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes de l'HACCP pour les petites structures d'abattage, de découpe de volailles maigres et de lagomorphes Saisine n° 2008-SA-0109.
- Afssa. 2009. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à un guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP concernant l'abattage des palmipèdes à foie gras, l'éviscération dans les tueries, les salles d'abattages agréées et les abattoirs individuels à la ferme agréés Saisine n° 2009-SA-0004.
- Allain, V., Chemaly, M., Laisney, M.J., Rouxel, S., Quesne, S., Le Bouquin, S. 2014. Prevalence of and risk factors for *Campylobacter* colonisation in broiler flocks at the end of the rearing period in France. *British Poultry Science* 55, 452-459.
- André, S. 2015. Caractérisation et écologie microbienne de lignes de production de conserves. Thèse d'Université.
- Anses. 2018a. Attribution des sources des maladies infectieuses d'origine alimentaire - Partie 2 : Analyse des données épidémiologiques, Avis de l'Anses. Expertise collective.
- Anses. 2018b. AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à l'état des connaissances sur la contamination des poulets de chair par *Campylobacter* et à l'évaluation de l'impact des interventions à différents stades de la chaîne alimentaire en France Saisine n° 2016-SA-0183.
- Anses. 2020. Hiérarchisation des dangers biologiques et chimiques dans le but d'optimiser la sécurité sanitaire des aliments Rapport de l'Anses. Expertise collective.
- Anses. 2021a. *Clostridium botulinum* : mise à jour des connaissances sur les différentes formes des types C, D, mosaïque C/D et D/C et E, RAPPORT INTERMÉDIAIRE d'expertise collective (saisines 2019-SA-0112 à 2019-SA-0115), Maisons-Alfort. 170.
- Anses. 2021b. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments : *Bacillus cereus*. Saisine n°2016-SA-0075.
- Anses. 2021c. Projet de guide de bonnes pratiques de protection animale en abattoirs de volaille, Avis révisé de l'Anses. Rapport révisé d'expertise collective.
- Batz, M.B., Hoffmann, S., Morris, J.G., Jr. 2012. Ranking the disease burden of 14 pathogens in food sources in the United States using attribution data from outbreak investigations and expert elicitation. *Journal of Food Protection* 75, 1278-1291.
- Borda-Molina, D., Seifert, J., Camarinha-Silva, A. 2018. Current perspectives of the chicken gastrointestinal tract and its microbiome. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 16, 131-139.
- Boubendir, S., Arsenault, J., Quessy, S., Thibodeau, A., Fravallo, P., Thériault, W.P., Fournaise, S., Gaucher, M.-L. 2020. Salmonella contamination of broiler chicken carcasses at critical steps of the slaughter process and in the environment of two slaughter plants: Prevalence, genetic profiles, and association with the final carcass status. *Journal of Food Protection* 84, 321-332.
- Broom, L.J., Kogut, M.H. 2018. The role of the gut microbiome in shaping the immune system of chickens. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 204, 44-51.
- Buess, S., Zurfluh, K., Stephan, R., Guldemann, C. 2019. Quantitative microbiological slaughter process analysis in a large-scale Swiss poultry abattoir. *Food Control* 105, 86-93.
- Casaburi, A., De Filippis, F., Villani, F., Ercolini, D. 2014. Activities of strains of *Brochothrix thermosphacta* *in vitro* and in meat. *Food Research International* 62, 366-374.
- CES BIORISK [Comité d'Experts Evaluation des risques biologiques dans les aliments]. 2020. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments : *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*. Saisine Anses n°2016-SA-0079.
- Chemaly, M., Toquin, M.T., Le Notre, Y., Fravallo, P. 2008. Prevalence of *Listeria monocytogenes* in poultry production in France. *Journal of Food Protection* 71, 1996-2000.
- Chen, S.H., Fegan, N., Kocharunchitt, C., Bowman, J.P., Duffy, L.L. 2020. Changes of the bacterial community diversity on chicken carcasses through an Australian poultry processing line. *Food Microbiology* 86, 103350.
- CIFOG [Comité Interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras]. 2016. Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène en élevage et gavage de Palmipèdes à foie gras, 113.

CIFOG [Comité Interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras]. 2018. Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène et des Principes de Biosécurité lors des opérations de Transport pour la filière Palmipèdes à foie gras, 34.

Clavijo, V., Flórez, M.J.V. 2018. The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science* 97, 1006-1021.

Consortium du projet des guides pour le Transport des animaux. 2017. Guide de Bonnes Pratiques pour le transport des volailles.

DGAL [Direction de l'Information Légale et Administrative], (Ed.) 2010. Guide des Bonnes Pratiques d'Hygiène et d'application des principes HACCP relatifs à l'abattage et à la découpe des volailles maigres (toutes espèces) (FIA). Les éditions des journaux officiels.

DGAL [Direction de l'Information Légale et Administrative], (Ed.) 2011. Guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP plats cuisinés et viande en conserves appertisées. Les éditions des journaux officiels.

Duqué, B., Daviaud, S., Guillou, S., Haddad, N., Membré, J.-M. 2018. Quantification of *Campylobacter jejuni* contamination on chicken carcasses in France. *Food Research International* 106, 1077-1085.

ECCF [European Chilled Food Federation]. 2006. Recommendations for the production of prepackaged chilled food. 88.

EFSA. 2004. Opinions of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) related to the use of vaccines for the control of *Salmonella* in poultry. *EFSA Journal* 114, 1-74.

EFSA. 2010. Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Campylobacter* in broiler batches and of *Campylobacter* and *Salmonella* on broiler carcasses in the EU, 2008 - Part A: *Campylobacter* and *Salmonella* prevalence estimates. *EFSA Journal* 8, 1503.

EFSA. 2011. Scientific Opinion on *Campylobacter* in broiler meat production: control options and performance objectives and/or targets at different stages of the food chain. *EFSA Journal* 9, 2105.

EFSA, ECDC. 2019. The European Union One Health 2018 zoonoses report. *EFSA Journal* 17, 5926.

FAO/WHO [Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization]. 2009a. Joint FAO/WHO food standards programme CODEX Committee on food hygiene. Guideline for the control of *Salmonella* and *Campylobacter* in chicken meat.

FAO/WHO [Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization]. 2009b. Risk assessment of *Campylobacter* spp. in broiler chickens: Technical Report, Microbiological Risk Assessment Series, Geneva. 132.

FranceAgriMer. 2020. La consommation des produits carnés en 2019, LES DONNÉES de FranceAgriMer, vol. ÉDITION septembre 2020, ÉDITION septembre 2020 ed. FranceAgriMer.

Fries-Craft, K., Meyer, M.M., Sato, Y., El-Gazzar, M., Bobeck, E.A. 2021. Age and *Staphylococcus aureus* inoculation route differentially alter metabolic potential and immune cell populations in laying hens. *Frontiers in Veterinary Science* 8.

FSIS/USDA [Food Safety and Inspection Service], U. 2021a. FSIS guidelines for controlling *Campylobacter* in raw poultry.

FSIS/USDA [Food Safety and Inspection Service], U. 2021b. FSIS guidelines for controlling *Salmonella* in raw poultry.

Guerin, M.T., Sir, C., Sargeant, J.M., Waddell, L., O'Connor, A.M., Wills, R.W., Bailey, R.H., Byrd, J.A. 2010. The change in prevalence of *Campylobacter* on chicken carcasses during processing: A systematic review. *Poultry Science* 89, 1070-1084.

Haberecht, S., Bajagai, Y.S., Moore, R.J., Van, T.T.H., Stanley, D. 2020. Poultry feeds carry diverse microbial communities that influence chicken intestinal microbiota colonisation and maturation. *AMB Express* 10, 143.

Hartnett, E., Kelly, L., Newell, D., Wooldridge, M., Gettinby, G. 2001. A quantitative risk assessment for the occurrence of *Campylobacter* in chickens at the point of slaughter. *Epidemiology and Infection* 127, 195-206.

Hayama, Y., Yamamoto, T., Kasuga, F., Tsutsui, T. 2011. Simulation model for *Campylobacter* cross-contamination during poultry processing at slaughterhouses. *Zoonoses and Public Health* 58, 399-406.

Hinton, A., Cason, J.A., Ingram, K.D. 2004. Tracking spoilage bacteria in commercial poultry processing and refrigerated storage of poultry carcasses. *International Journal of Food Microbiology* 91, 155-165.

Hue, O., Le Bouquin, S., Laisney, M.J., Allain, V., Lalande, F., Petetin, I., Rouxel, S., Quesne, S., Gloaguen, P.Y., Picherot, M., Santolini, J., Salvat, G., Bougeard, S., Chemaly, M. 2010. Prevalence of and risk factors for *Campylobacter* spp. contamination of broiler chicken carcasses at the slaughterhouse. *Food Microbiology* 27, 992-999.

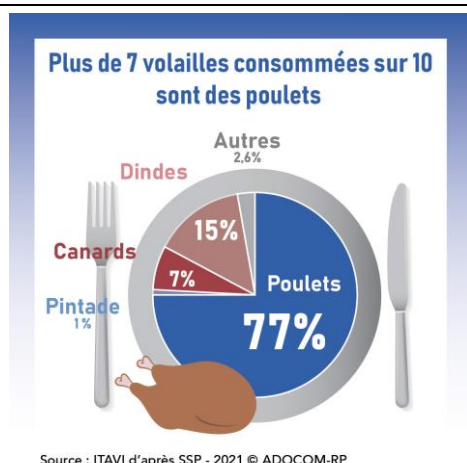
Huezo, R., Northcutt, J.K., Smith, D.P., Fletcher, D.L., Ingram, K.D. 2007. Effect of dry air or immersion chilling on recovery of bacteria from broiler carcasses. *Journal of Food Protection* 70, 1829-1834.

International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). 2011. Part II. Application of principles of product categories. Chapter 9 : Poultry products. In: International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF), (Ed.), *Microorganisms in Foods 8 - Use of data for assessing process control and product acceptance*. Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London. 95-106.

- Kers, J.G., Velkers, F.C., Fischer, E.A., Hermes, G.D.A., Stegeman, J.A., Smidt, H. 2018. Host and environmental factors affecting the intestinal microbiota in chickens. *Frontiers in Microbiology* 9.
- Khalid, T., Hdaifeh, A., Federighi, M., Cummins, E., Boué, G., Guillou, S., Tesson, V. 2020. Review of quantitative microbial risk assessment in poultry meat: The central position of consumer behavior. *Foods* 9.
- Le Bouquin, S., Allain, V., Rouxel, S., Petetin, I., Picherot, M., Michel, V., Chemaly, M. 2010. Prevalence and risk factors for *Salmonella* spp. contamination in French broiler-chicken flocks at the end of the rearing period. *Preventive Veterinary Medicine* 97, 245-251.
- Li, M., Havelaar, A.H., Hoffmann, S., Hald, T., Kirk, M.D., Torgerson, P.R., Devleesschauwer, B. 2019. Global disease burden of pathogens in animal source foods, 2010. *PLOS ONE* 14, e0216545.
- Li, S., Mann, D.A., Zhang, S., Qi, Y., Meinersmann, R.J., Deng, X., Cotter, P.D. 2020. Microbiome-informed food safety and quality: Longitudinal consistency and cross-sectional distinctiveness of retail chicken breast microbiomes. *mSystems* 5, e00589-00520.
- Machado Junior, P.C., Chung, C., Hagerman, A. 2020. Modeling *Salmonella* spread in broiler production: Identifying determinants and control strategies. *Frontiers in Veterinary Science* 7.
- Marmion, M., Ferone, M.T., Whyte, P., Scannell, A.G.M. 2021. The changing microbiome of poultry meat; from farm to fridge. *Food Microbiology* 99, 103823.
- Matamoros, S., André, S., Hue, I., Prévost, H., Pilet, M.F. 2010. Identification of lactic acid bacteria involved in the spoilage of pasteurized "foie gras" products. *Meat Science* 85, 467-471.
- Mead, G.C. 2004. Microbiological quality of poultry meat: a review. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 6, 135-142.
- Meunier, M., Guyard-Nicodeme, M., Dory, D., Chemaly, M. 2016. Control strategies against *Campylobacter* at the poultry production level: biosecurity measures, feed additives and vaccination. *Journal of Applied Microbiology* 120, 1139-1173.
- Nachamkin, I., Allos, B.M., Ho, T. 1998. *Campylobacter* species and Guillain-Barre syndrome. *Clinical Microbiology Reviews* 11, 555-567.
- Nauta, M., van der Fels-Klerx, I., Havelaar, A. 2005. A poultry-processing model for quantitative microbiological risk assessment. *Risk Analysis* 25, 85-98.
- Northcutt, J.K., Savage, S.I., Vest, L.R. 1997. Relationship between feed withdrawal and viscera condition of broilers. *Poultry Science* 76, 410-414.
- Oakley, B.B., Lillehoj, H.S., Kogut, M.H., Kim, W.K., Maurer, J.J., Pedroso, A., Lee, M.D., Collett, S.R., Johnson, T.J., Cox, N.A. 2014. The chicken gastrointestinal microbiome. *FEMS Microbiology Letters* 360, 100-112.
- OCDE. 2021. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030.
- Pacholewicz, E., Swart, A., Schipper, M., Gortemaker, B.G., Wagenaar, J.A., Havelaar, A.H., Lipman, L.J. 2015. A comparison of fluctuations of *Campylobacter* and *Escherichia coli* concentrations on broiler chicken carcasses during processing in two slaughterhouses. *International Journal of Food Microbiology* 205, 119-127.
- Planchon, S., Nibouche, B., Cordier, G., André, S., Zuber, F. 2021. Characterization and detection of *Clostridium algidicarnis* associated with spoilage of pasteurized foie gras, vol. soumis.
- Planchon, S., Taminiau, B., Daube, G., Zuber, F. 2018. Projet Ecofog : Ecology of foie gras processing lines in France
- Rivera-Pérez, W., Barquero-Calvo, E., Zamora-Sanabria, R. 2014. Salmonella contamination risk points in broiler carcasses during slaughter line processing. *Journal of Food Protection* 77, 2031-2034.
- Rothrock, M.J., Jr., Davis, M.L., Locatelli, A., Bodie, A., McIntosh, T.G., Donaldson, J.R., Ricke, S.C. 2017. *Listeria* occurrence in poultry flocks: Detection and potential implications. *Frontiers in Veterinary Science* 4, 125-125.
- Rothrock, M.J., Locatelli, A., Glenn, T.C., Thomas, J.C., Caudill, A.C., Kiepper, B.H., Hiatt, K.L. 2016. Assessing the microbiomes of scalding and chiller tank waters throughout a typical commercial poultry processing day. *Poultry Science* 95, 2372-2382.
- Rouger, A., Tresse, O., Zagorec, M. 2017. Bacterial contaminants of poultry meat: Sources, species, and dynamics. *Microorganisms* 5, 50.
- Säde, E., Murros, A., Björkroth, J. 2013. Predominant enterobacteria on modified-atmosphere packaged meat and poultry. *Food Microbiology* 34, 252-258.
- Samapundo, S., de Baenst, I., Aerts, M., Cnockaert, M., Devlieghere, F., Van Damme, P. 2019. Tracking the sources of psychrotrophic bacteria contaminating chicken cuts during processing. *Food Microbiology* 81, 40-50.
- Santé Publique France. 2020a. Bilan de la surveillance des infections à *Campylobacter* en France en 2019.
- Santé Publique France. 2020b. Surveillance des toxi-infections alimentaires collectives. Données de la déclaration obligatoire.
- Seliwiorstow, T., Baré, J., Berkvens, D., Van Damme, I., Uyttendaele, M., De Zutter, L. 2016. Identification of risk factors for *Campylobacter* contamination levels on broiler carcasses during the slaughter process. *International Journal of Food Microbiology* 226, 26-32.

- Shi, Z., Rothrock Jr., M.J., Ricke, S.C. 2019. Applications of microbiome analyses in alternative poultry broiler production systems. *Frontiers in Veterinary Science* 6.
- Souillard, R., Grosjean, D., Le Gratiot, T., Poezevara, T., Rouxel, S., Balaine, L., Mace, S., Martin, L., Anniballi, F., Chemaly, M., Le Bouquin, S., Le Marechal, C. 2021. Asymptomatic carriage of *C. botulinum* Type D/C in broiler flocks as the source of contamination of a massive botulism outbreak on a dairy cattle farm. *Frontiers in Microbiology* 12, 679377.
- Vasai, F. 2013. Etude de la composition du microbiote intestinal des canards. Impact du gavage, de l'ajout d'un probiotique (*Lactobacillus sakei*) et d'un composé organométallique (cadmium). Thèse d'Université.
- Vasai, F., Ricaud, K.B., Cauquil, L., Daniel, P., Peillod, C., Gontier, K., Tizaoui, A., Bouchez, O., Combes, S., Davail, S. 2014. *Lactobacillus sakei* modulates mule duck microbiota in ileum and ceca during overfeeding. *Poultry Science* 93, 916-925.
- Wei, S., Morrison, M., Yu, Z. 2013. Bacterial census of poultry intestinal microbiome. *Poultry Science* 92, 671-683.
- World Health Organization. 2015. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015 World Health Organization, Geneva.
- Xue, G., Cheng, S., Yin, J., Zhang, R., Su, Y., Li, X., Li, J., Bao, J. 2021. Influence of pre-slaughter fasting time on weight loss, meat quality and carcass contamination in broilers. *Animal bioscience* 34, 1070-1077.
- Zeghar, I. 2019. Contribution à l'étude de la biosécurité au cours d'élevage de poulet de chair et leur impact sur les performances zootechniques dans la région d'Alger, Mémoire de Master. Faculté des Sciences exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie.
- Zhang, L., Wu, W., Lee, Y.-K., Xie, J., Zhang, H. 2018. Spatial heterogeneity and co-occurrence of mucosal and luminal microbiome across swine intestinal tract. *Frontiers in Microbiology* 9.
- Zhao, L., Wang, G., Siegel, P., He, C., Wang, H., Zhao, W., Zhai, Z., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., Sun, Z., Chen, W., Zhang, Y., Meng, H. 2013. Quantitative genetic background of the host influences gut microbiomes in chickens. *Scientific Reports* 3, 1163.
- Zoellner, C., Ceres, K., Ghezzi-Kopel, K., Wiedmann, M., Ivanek, R. 2018. Design elements of *Listeria* environmental monitoring programs in food processing facilities: A scoping review of research and guidance materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 1156-1171.

Figure 1. Espèces de volaille consommées en France



Consommation française individuelle des viandes : Comparaison de la structure entre 1998, 2008 et 2018

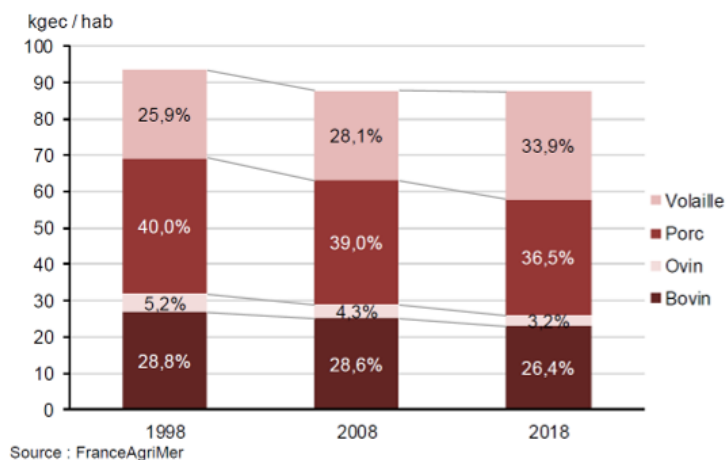


Figure 2. Anatomie du poulet (D'après Marmion et al. (2020)). En bleu les différentes régions anatomiques du tractus gastro-intestinal des poulets

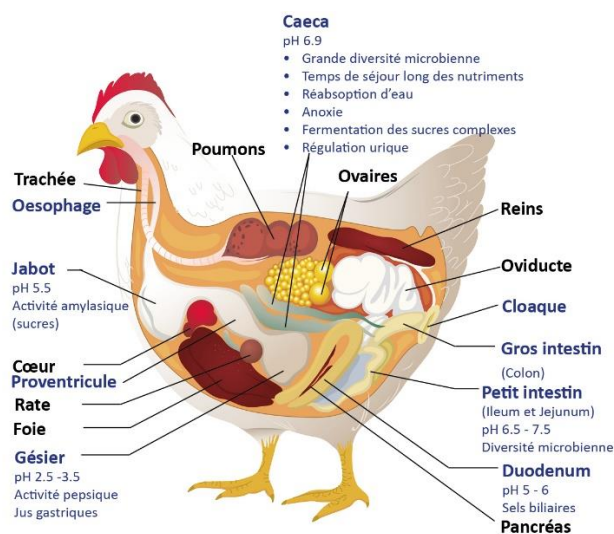


Figure 3. Influence des étapes de production, depuis l'élevage jusqu'au produit fini, sur la qualité microbiologique des produits aviaires

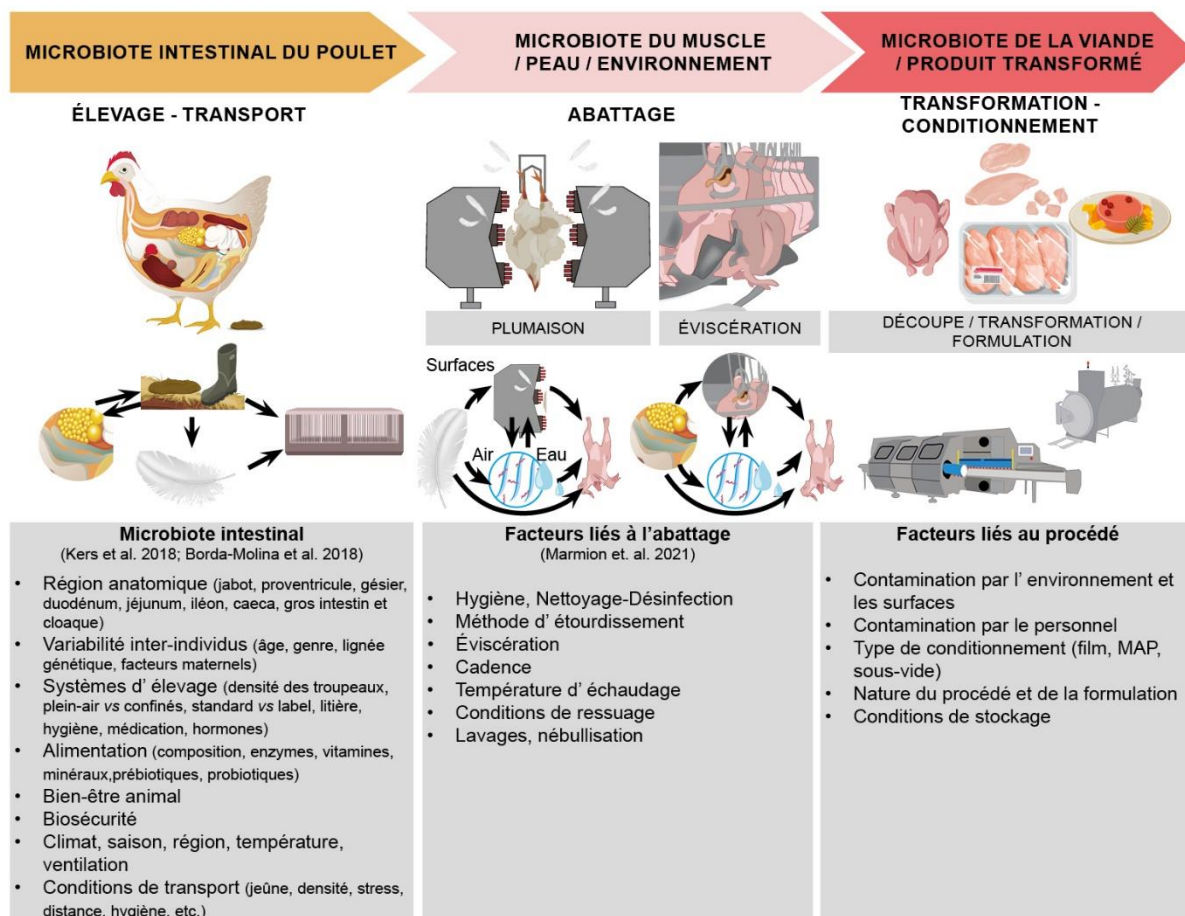


Figure 4. Représentation des agents pathogènes qui contribuent au fardeau mondial lié à la consommation de denrées d'origine animale (Li et al., 2019)

