

Le point sur les méthodes de surveillance de la contamination microbienne des denrées alimentaires d'origine animale

GHAFIR Y.¹, DAUBE G.²

¹ Laboratoire national de Référence en Microbiologie des Denrées alimentaires pour l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire, Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Département des Sciences des Denrées alimentaires - Microbiologie, Boulevard de Colonster, 20, Bât. B43b à 4000 Liège, BELGIQUE

² Département des sciences des denrées alimentaires, Microbiologie, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Boulevard de Colonster, 20, Bât. B43b à 4000 Liège, BELGIQUE

Correspondance : Prof. Georges Daube, Email : Georges.Daube@ulg.ac.be

RESUME : Les toxi-infections d'origine alimentaire ont un impact important sur la santé publique. En Europe et aux USA, *Salmonella* et *Campylobacter* en sont les deux premières causes bactériennes, surtout en raison de leur présence fréquente dans le tractus intestinal des volailles, porcs et bœufs. Dans le cadre de la surveillance de la contamination bactérienne des denrées alimentaires, le dénombrement de certains groupes ou espèces de bactéries d'origine intestinale est une alternative à la recherche des microorganismes pathogènes. Ils peuvent être utilisés comme index indiquant la présence possible d'agents pathogènes ayant une écologie semblable, ou comme indicateurs signalant le non-respect des bonnes pratiques. Les plus utilisés sont les germes aérobies totaux, *E. coli* et les entérobactéries. Dans les filières de production de viande, ils sont dénombrés au niveau de l'environnement, de toute la filière, sur les carcasses à l'abattoir, dans la viande, dans les ateliers de transformation et la distribution. Différentes modalités de surveillance sont utilisées par les producteurs de denrées alimentaires et par les autorités, dans le cadre du contrôle de l'autocontrôle, des plans de contrôle nationaux ou pour déterminer la situation nationale.

1. INTRODUCTION

Les toxi-infections d'origine alimentaire ont un impact important sur la santé humaine. Aux USA, le nombre de cas annuels de maladies dues à des agents pathogènes responsables de toxi-infections d'origine alimentaire est estimé à 38,6 millions (Mead *et al.*, 1999). Parmi ceux-ci, 80 % seraient dus à des virus, 13 % à des bactéries et 7 % à des parasites, mais les agents bactériens seraient responsables de 71,7 % des mortalités. Les maladies bactériennes gastro-intestinales sont à 80 % d'origine alimentaire (Mead *et al.*, 1999). Les deux principaux agents bactériens incriminés dans les toxi-infections d'origine alimentaire (en termes de nombre de cas totaux

et de nombre d'hospitalisations) sont *Salmonella* et *Campylobacter*. Viennent ensuite en nombre d'hospitalisations : *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157 entérohémorragique, *Staphylococcus* et *Yersinia enterocolitica*. *Salmonella* (30,6 %), *Listeria monocytogenes* (27,6 %), *Campylobacter* (5,5 %) et *E. coli* O157 entérohémorragiques (2,9 %) sont estimés comme étant responsables des plus fortes mortalités aux USA (Mead *et al.*, 1999).

Les objectifs de cette synthèse seront (i) de décrire les principaux agents pathogènes pour l'homme transmis par les denrées alimentaires d'origine animale en Europe et aux USA,

dont *Salmonella* et *Campylobacter*, ainsi que leurs éventuels index, et (ii) d'examiner les modalités envisageables pour mettre en place des plans de surveillance des denrées alimentaires d'origine animale.

2. PRINCIPALES BACTÉRIES ZOONOTIQUES, INDEX ET INDICATRICES DANS LA FILIÈRE VIANDE

2.1. Bactéries index et indicatrices dans la filière viande

De nombreuses bactéries sont dénombrées en tant qu'index ou indicateur. Leur dépassement d'un seuil donné peut avoir de multiples origines et significations. Les principales sont décrites ci-dessous.

2.1.1. Germes aérobies totaux

Les germes aérobies totaux ne constituent pas une famille bactérienne particulière. Il s'agit des microorganismes formant des colonies dénombrables après leur multiplication dans des conditions de laboratoire définies. Le milieu de culture généralement choisi est le *plate count agar* (PCA) contenant un digestat enzymatique de caséine, de l'extrait de levure et du glucose. Selon l'ISO 4833 (Organisation internationale de Normalisation, 2003a), il est incubé dans les conditions atmosphériques ambiantes à 30°C pendant 72 h, mais d'autres températures (35°C, 37°C) sont parfois utilisées (Mead *et al.*, 1993 ; Bacon *et al.*, 2000 ; Berrang *et al.*, 2002 ; Organisation internationale de Normalisation, 2003a ; McEvoy *et al.*, 2004 ; Pearce et Bolton, 2005 ; Smith *et al.*, 2005 ; Hutchison *et al.*, 2006).

Par définition, les sources de contamination des denrées alimentaires par les germes aérobies totaux sont très variées : l'environnement, l'animal (flore présente dans l'intestin, sur la peau, la toison, les muqueuses), la contamination croisée avec d'autres carcasses ou aliments, la contamination par le manipulateur. Dans l'aliment cru ou manipulé après traitement, il est normal d'en retrouver une faible quantité. Il peut s'agir d'entérobactéries, de *Bacillus*, staphylocoques, *Pseudomonas*, bactéries lactiques ou d'autres agents éventuellement pathogènes. Leur présence au-delà des limites définies peut signifier un défaut d'hygiène des procédés de fabrication, voire, au-delà de 10⁷ cfu/g, un état de putréfaction. Elle peut également être due à une conservation à des températures trop élevées, sauf lorsqu'il s'agit de bactéries psychrotrophes (par exemple les bactéries lactiques, *Pseudomonas*, *Listeria*, *Yersinia*), c'est-à-dire capables de se multiplier à une température inférieure à 10°C. Seul un dénombrement de germes indicateurs plus spécifiques permet de déterminer l'origine de la contamination. Dénombrés seuls, les germes aérobies totaux sont des agents indicateurs qui donnent peu d'informations.

2.1.2. *Pseudomonas*

Le genre *Pseudomonas* est constitué de bacilles Gram négatifs, droits ou légèrement incurvés, ayant une taille de 0,5 à 1,0 µm sur 1,5 à 5,0 µm, aéro-

bies, oxydase positifs, non sporulés et généralement mobiles par un ou des flagelles polaires. Certains produisent des pigments hydrosolubles fluorescents ou pyoverdine, de couleur jaune-vert qui ont un rôle de sidérophores. La plupart des espèces sont psychrotrophes. Leur croissance est possible entre 4°C (voire moins) et 43°C (Labadie *et al.*, 1996 ; Euzéby, 2007).

Les *Pseudomonas* sont ubiquistes et peuvent vivre dans des niches écologiques très diverses. Peu virulentes, plusieurs souches sont des pathogènes opportunistes pour l'homme et des agents d'altération des viandes, poissons et produits laitiers. Les espèces les plus fréquemment rencontrées chez l'homme sont *Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida* et *P. stutzeri*. (Euzéby, 2007).

Les *Pseudomonas* sont les principales bactéries psychrotrophes retrouvées dans les viandes, le lait et, dans une moindre mesure, les produits végétaux. Présentes dans les aliments, la réfrigération permet leur multiplication et la production d'enzymes protéolytiques et lipolytiques responsables d'altérations. Leur présence au niveau des chaînes d'abattage et en particulier dans les chambres froides constitue une source permanente de contamination des viandes. *Pseudomonas* est principalement utilisé comme indicateur d'altération des viandes fraîches et du lait (Labadie *et al.*, 1996).

2.1.3. Entérobactéries

Les *Enterobacteriaceae* ou entérobactéries appartiennent à une famille de courts bâtonnets Gram négatifs, de 0,3 à 1,0 µm sur 1,0 à 6,0 µm, dont certains sont mobiles au moyen de flagelles péritriches et d'autres immobiles. Non sporulés, ils se multiplient en présence et en absence d'oxygène. Ils possèdent un métabolisme respiratoire et fermentatif et produisent des acides, et souvent du gaz, lors de la fermentation de glucose et d'autres hydrates de carbone.

Il s'agit d'un groupe biochimiquement et génétiquement apparenté, présentant une grande hétérogénéité du point de vue de son écologie, de ses hôtes, et de son potentiel pathogène pour l'homme, les animaux, les insectes et les plantes (Brenner,

1984). Cette famille inclut plusieurs genres et espèces de bactéries pathogènes d'origine intestinale (*Shigella*, *Salmonella*, *Yersinia*, et les souches pathogènes d'*E. coli*). Elle comprend également de nombreux genres présents naturellement dans l'environnement, y compris sur les plantes, sans être d'origine fécale ni associés à des maladies d'origine alimentaire (Ray, 2001 ; Euzéby, 2007).

Dans les denrées alimentaires d'origine animale, les entérobactéries sont d'origine intestinale ou environnementale. Bactéries indicatrices, elles peuvent signifier un défaut d'hygiène lors des processus de fabrication : une contamination fécale, environnementale, une insuffisance des procédés de traitements, un défaut d'hygiène du matériel et de l'équipement utilisés, ou une contamination croisée d'une autre origine (végétale par exemple). Pour les produits prêts à consommer et conservés sous réfrigération, les entérobactéries peuvent également signifier une conservation à des températures trop élevées ou pendant une durée trop longue. Étant donné les multiples sources de contamination, leur présence en grands nombres dans des produits traités thermiquement et dans les produits prêts à être consommés peut avoir une signification en termes de santé publique (Ray, 2001).

2.1.4. *E. coli*

Les *Escherichia coli* font partie de la famille des *Enterobacteriaceae*. Il s'agit de courts bâtonnets mobiles au moyen de flagelles péritriches, Gram négatifs, anaérobies facultatifs, non sporulés. Ils sont capables de fermenter plusieurs sucres, mais leur fermentation du lactose avec production de gaz est caractéristique. La multiplication à 44°C, la production d'indole et la présence d'une activité β-glucuronidase sont également caractéristiques. Les *E. coli* sont sérotypées en se basant sur leurs 173 antigènes somatiques (O), 56 antigènes flagellaires (H) et 80 antigènes capsulaires (K) (Feng, 2001 ; Eslava *et al.*, 2003).

Étant l'espèce bactérienne anaérobie facultative prédominante dans l'intestin et les fèces, la présence d'*E. coli* dans les aliments et l'eau est considérée comme une indication de contamination fécale et, dès lors, l'indication d'une possible présence de microorganismes pathogènes d'origine fécale

(index). La contamination a lieu le plus souvent lors de la production et la transformation d'aliments crus d'origine animale, ou indirectement, via la contamination de l'eau. *E. coli* peut être affecté par la dessiccation, la congélation et un pH bas de façon plus rapide que certains agents pathogènes intestinaux (Feng, 2001 ; Ray, 2001 ; Eslava *et al.*, 2003). Dans les filières de production carnée, la principale source de contamination des denrées alimentaires par *E. coli* est le tractus intestinal des animaux. Leur présence correspond à un défaut de la technique d'abattage, ou une contamination croisée, mais peut également être due à une contamination par les personnes manipulant les denrées alimentaires. La contamination croisée et l'absence d'une étape de réduction importante de la contamination bactérienne des carcasses lors du processus d'abattage des volailles entraînent une contamination souvent élevée dans cette filière (Ray, 2001).

2.2. Agents pathogènes responsables de toxi-infections d'origine alimentaire

2.2.1. Principaux microorganismes responsables de toxi-infections d'origine alimentaire

En Europe (24 états membres participants), les zoonoses transmissibles par les aliments les plus fréquemment mises en évidence sont les campylobactérioses et les salmonelloses (European Food Safety Authority, 2006). Elles ont, respectivement, augmenté de 7,8 % et diminué de 9,5 % par rapport aux années précédentes (European Food Safety Authority, 2006).

Les épidémies européennes d'origine alimentaire sont principalement provoquées par *Salmonella* avec comme origines les œufs et la viande de volaille, *Campylobacter* avec comme origine la viande de volaille, et par des virus ayant pour origines la consommation d'eaux de boissons, fruits et légumes contaminés (European Food Safety Authority, 2006). En 2005, jusqu'à 66 % des échantillons de viande de volaille fraîche analysés en Europe contenaient des *Campylobacter*. *Salmonella* a été mis en évidence dans de la viande fraîche de volaille et de porc (jusqu'à 18 % d'échantillons positifs) et des œufs de table (0 à 6 %). Dans ces derniers, on a constaté d'une

diminution globale de la contamination par *Salmonella* par rapport aux années précédentes (European Food Safety Authority, 2006).

Dans l'ordre décroissant, les épidémies européennes ont ensuite pour cause *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* producteurs de Shiga-toxines, *Brucella* et *Mycobacterium bovis* (European Food Safety Authority, 2006). Seuls 15 Etats membres déclarent des épidémies d'origine virale; leur nombre est donc largement sous-estimé. Les calcivirus, incluant surtout les norovirus, constituent la source la plus fréquente d'épidémies alimentaires non bactériennes et sont responsables de la majorité des cas et hospitalisations. Les épidémies décrites ont généralement lieu dans des restaurants, services de restauration et institutions (écoles et maisons de repos). Une étude danoise (Helms *et al.*, 2003) a montré qu'une infection due à *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica* ou *Shigella* entraînait l'année suivante une mortalité des personnes touchées 3,1 fois supérieure. Parmi les maladies associées aux aliments, *Campylobacter* a l'impact le plus important en terme de morbidité tandis que *Salmonella* cause le plus de mortalités (Adak *et al.*, 2005).

En Belgique, seul un épisode de toxi-infection dû à des norovirus a été rapporté (Verbelen *et al.*, 2004). Comme dans l'ensemble de l'Europe, *Campylobacter* et *Salmonella* sont les agents bactériens pathogènes les plus fréquemment isolés des malades, selon le système sentinelle de surveillance des bactéries (Ducoffre, 2006 ; National Reference Centre for *Salmonella* and *Shigella*, 2006). Pour la première fois en 2005, le nombre de cas de campylobactérioses (6.879 cas en 2005, et 6.716 cas en 2004) a dépassé le nombre de cas de salmonelloses (9.543 cas en 2004 et 4.916 en 2005) (Ducoffre, 2006 ; National Reference Centre for *Salmonella* and *Shigella*, 2006). Pour *Campylobacter*, une grande variation entre les régions est observée : l'incidence moyenne en Flandre est de 81 cas par 100.000 habitants, alors qu'elle est de 42 cas par 100.000 habitants en Wallonie (Ducoffre, 2006).

Aux USA, l'incidence de cas d'infections bactériennes mises en évidence en 2005 dans le cadre du réseau

de surveillance FoodNet était pour *Salmonella* et *Campylobacter* respectivement de 14,55 et 12,72 par 100.000 habitants (Centers for Disease Control and Prevention, 2006b). Par rapport à la période de 1996 à 1998, on constate une diminution importante pour *Yersinia* (- 49 %), *Campylobacter* (- 30 %) et, dans une moindre mesure pour *Salmonella* (- 9 %). Au niveau des sérotypes de *Salmonella*, seul *S. Typhimurium* est en diminution (- 42 %), alors que l'incidence de *S. Enteritidis* a augmenté de 25 % (Centers for Disease Control and Prevention, 2006b).

En Australie, le nombre de gastroentérites infectieuses a été estimé à 0,92 épisode par personne et par an, dont 0,29 auraient une origine alimentaire (Hall *et al.*, 2005).

Au Canada, le taux de gastroentérite aiguë est estimé à 1,3 épisodes par personne et par an (Majowicz *et al.*, 2004).

Le tableau I donne un aperçu chiffré des différentes causes de toxi-infections dans ces pays.

2.2.2. *E. coli*

Hôte normal présent en grand nombre dans la flore intestinale de l'homme et des animaux, y compris les oiseaux, certains *E. coli* sont cependant responsables d'infections digestives ou extra-digestives. Il s'agit des *E. coli* pathogènes parmi lesquelles les souches entérohémorragiques – car la principale maladie qu'elles provoquent chez l'homme est la colite hémorragique – ou EHEC dont le sérotype O157 est bien connu. Outre la colite hémorragique, les EHEC peuvent causer de la diarrhée, le syndrome hémolytique et urémique, et le purpura thrombotique thrombocytopénique (Feng, 2001 ; Ray, 2001). Leurs principaux facteurs de virulence sont les shiga-toxines Stx1 et Stx2, une intimine et une entérohémolysine (Paton et Paton, 1998). Les infections sont le plus souvent causées par la consommation de viande de bœuf contaminée et insuffisamment cuite, mais peuvent également être dues à la consommation d'eau, de lait cru, de fruits, légumes, à des baignades, et à des contacts entre personnes... (Feng, 2001)

2.2.3. *Salmonella*

Salmonella appartient à la famille des *Enterobacteriaceae*. Les *Salmonella* sont constituées de bacilles droits

TABLEAU I : Importances relatives des toxi-infections alimentaires

Pays	Causes de toxi-infections
15 Etats membres (European Food Safety Authority, 2006)	196 des toxi-infections sont dues à des calicivirus et 86 à des rotavirus (cela représente 6% des épidémies et 6.812 personnes affectées par an)
Irlande du Nord et République d'Irlande (Scallan <i>et al.</i> , 2004)	0,6 épisode de gastroentérite aiguë sont constatés par personne et par an
Pays-Bas (de Wit <i>et al.</i> , 2001a; de Wit <i>et al.</i> , 2001b; Van Duynhoven <i>et al.</i> , 2004)	54 % des toxi-infections sont dues aux norovirus, 4 % à <i>Salmonella</i> , 2 % aux rotavirus, 1% à <i>Campylobacter</i> (affectent 28,3% des personnes par an)
Royaume-Uni (Adak <i>et al.</i> , 2002; Adak <i>et al.</i> , 2005)	Les principaux agents causaux sont les norovirus, <i>Campylobacter</i> et <i>Salmonella</i> (affectent 20% de la population)
France (Institut de veille sanitaire, 2004)	les 3 principaux microorganismes responsables de toxi-infections d'origine alimentaire sont les norovirus (70.000 cas estimés chaque année), <i>Salmonella</i> (plus de 30.000 cas estimés par an), et <i>Campylobacter</i> (plus de 12.000 cas estimés par an)
Belgique (Ducoffre, 2006; National Reference Centre for <i>Salmonella</i> and <i>Shigella</i> , 2006)	En 2005, 6.879 cas de campylobactérioses (66 cas par 100.000 habitants), 4.916 de salmonelloses (45,2 % dues à <i>S. Enteritidis</i> , 33,7 % dues à <i>S. Typhimurium</i>), 427 toxi-infections dues à <i>Yersinia enterocolitica</i> , 62 à <i>Listeria monocytogenes</i> , 47 à <i>E. coli</i> O157
USA (Centers for Disease Control and Prevention, 2006b)	14,55 salmonelloses, 12,72 campylobactérioses et 0,36 yersinioses par 100.000 habitants
24 Etats membres (European Food Safety Authority, 2006)	197.363 campylobactérioses (51,6 cas par 100.000 habitants) et 176.395 salmonelloses en 2005 (38,2 cas par 100.000 habitants)

Gram négatifs, non sporulés, d'une taille de 0,7 à 1,5 µm de large et de 2,0 à 5 µm de long, anaérobies facultatifs. Les bacilles sont généralement mobiles grâce à des flagelles péritriches. Ils produisent généralement des acides et du gaz à partir de glucose et utilisent le citrate comme seule source de carbone. Ces bactéries croissent à des températures situées entre 8°C et 45°C, mais sont sensibles à la chaleur (Le Minor, 1984 ; International Commission for the Microbi, 1996).

Le genre *Salmonella* est divisée en 2 espèces, *S. enterica* et *S. bongori*. *S. enterica* est elle-même subdivisée en 6 sous-espèces, dont les sérovars sont régulièrement rencontrés chez l'homme, dans les produits de l'agriculture et les aliments. La souche-type de ce genre est *S. enterica* subsp. *enterica* serovar Typhimurium. Toutes les souches de *Salmonella* sont potentiellement pathogènes pour l'homme (D'Aoust, 2001; National Reference Centre for *Salmonella* and *Shigella*, 2006). La sous-espèce *enterica* est subdivisée en sérovars ou sérotypes sur base des antigènes somatiques (O), capsulaires (Vi) et flagellaires (H), conformément au schéma de Kauffmann-White. Plus de 2400 sérotypes sont décrits, mais 20.000 combinaisons sont possibles en se basant sur ce schéma (Le Minor, 1984; International Commission for the Microbiological Specifications for

Foods, 1996; Hanes, 2003; Krauss *et al.*, 2003). Après *S. Typhimurium*, au milieu des années 80, *S. Enteritidis* est devenu le sérotype de *Salmonella* le plus souvent rencontré, en raison de sa transmission horizontale de la poule à l'œuf. Plus récemment, *S. Typhimurium* DT104, hautement virulente et résistance à de multiples antibiotiques, a émergé en Europe et aux USA. Ce microorganisme est ubiquitaire dans l'environnement naturel. Sa présence chez les animaux de rente et sur les végétaux est favorisée par l'élevage intensif et l'utilisation d'engrais organiques non traités pour fertiliser les cultures (D'Aoust, 2001).

La pathogénicité des *Salmonella* nontyphoïdiennes est due à leur résistance au pH acide de l'estomac, leur compétition avec la flore normale de l'intestin grêle et à leur franchissement de la barrière épithéliale pour proliférer dans les plaques de Peyer et envahir les ganglions mésentériques. Elles peuvent également atteindre la circulation sanguine et donner lieu à des abcès dans différents tissus, voire une septicémie (International Commission for the Microbiological Specifications for Foods, 1996; Hanes, 2003).

La volaille, et plus particulièrement les œufs et les carcasses, est la source principale des cas humains de salmonellose. *Salmonella* Enteritidis est le sérotype typiquement présent dans

le tractus reproducteur de la poule. Les animaux atteints produisent des œufs contaminés au niveau du vitellus (jaune), de l'albumen (blanc), des membranes ou de la coquille, en raison d'une contamination de la coquille par des fientes ou une contamination de la partie interne de l'œuf lors de son passage dans le tractus reproducteur. D'autres sérotypes tels que *Salmonella* Typhimurium sont plus fréquents chez les poulets de chair et, dans une moindre mesure, dans les autres filières de production de viande. La viande de porc et, de façon moins importante, la viande de bœuf sont les autres sources de contamination les plus souvent rencontrées. Les produits végétaux peuvent également être une source de *Salmonella* en raison de l'utilisation d'eau ou d'engrais contaminés (D'Aoust, 2001; De Buck *et al.*, 2004).

2.2.4. *Yersinia enterocolitica*

Le genre *Yersinia* comprend 11 espèces appartenant aux *Enterobacteriaceae*. Il s'agit de bacilles Gram négatifs, non sporulés, anaérobies facultatifs qui fermentent le glucose. Plus petites que la plupart des autres entérobactéries, elles apparaissent souvent comme des coccobacilles lorsqu'elles se multiplient à 37°C. Ce genre comprend 4 espèces pathogènes bien caractérisées : *Yersinia pestis* responsable des pestes bubonique et pulmonaire, *Y. pseudo-*

tuberculosis pathogène des rongeurs et occasionnellement de l'homme, *Y. ruckeri* provoquant des maladies chez les poissons d'eau douce, et *Y. enterocolitica*, un pathogène intestinal. *Y. pseudotuberculosis* et *Y. enterocolitica* sont les 2 agents pathogènes d'origine alimentaire. Elles atteignent le tractus gastro-intestinal de l'homme et provoquent des entérites, entérocolites, lymphadénites, et rarement des infections extra-intestinales telles que des arthrites. *Y. enterocolitica* est également présente dans l'intestin d'animaux sains tels que des porcs, bovins, chiens et chats (Krauss *et al.*, 2003; Robin-Browne et Hartland, 2003).

L'espèce *Y. enterocolitica* est divisée en plusieurs sous-groupes suivant leur activité biochimique (biotype) et les antigènes O lipopolysaccharides (sérotipe) qu'ils portent. En Europe, la grande majorité des souches responsables d'infections chez l'homme sont du sérotipe 0:3, les autres étant du sérotipe 0:9. Les sérotypes O:8, O:5 et O:27 sont également impliqués dans des pathologies aux USA, Canada ou Japon. *Y. enterocolitica* est psychrotrophe, c'est-à-dire capable de se multiplier à des températures inférieures à 4°C. Sa température optimale de multiplication est cependant de 28-30°C (Krauss *et al.*, 2003; Robin-Browne et Hartland, 2003). L'infection du tube digestif a pour origine l'adhésion et l'invasion des cellules de la lumière intestinale (International Commission for the Microbiological Specifications for Foods, 1996).

Y. enterocolitica est présente chez une grande variété d'animaux, aliments et eaux, mais les porcs sont le principal réservoir des biosérotypes pathogènes pour l'homme. La plupart des souches isolées d'autres sources ne sont pas pathogènes pour l'homme. La région des amygdales de porcs est une niche écologique ayant une haute incidence de *Y. enterocolitica*. Au niveau des filières de production carnée, une contamination est souvent due à un défaut d'hygiène au stade de l'abattage (International Commission for the Microbiological Specifications for Foods, 1996).

2.2.5. *Campylobacter*

Le genre *Campylobacter* est constitué de fins bacilles Gram négatifs incurvés en spirale, non sporulés, parfois en forme de S, d'une taille de 0,2

à 0,5 µm de large et de 0,5 à 5 µm de long. Les bacilles sont mobiles grâce à un flagelle situé à une ou aux deux extrémités de la cellule et ont un mouvement typique de tire-bouchon. *Campylobacter* a un métabolisme de type respiratoire et est micro-aérophile, c'est-à-dire qu'il requière une concentration en oxygène entre 3 et 15 %. Certaines souches peuvent occasionnellement se multiplier dans des conditions d'aérobiose ou d'anaérobiose. Ils sont incapables d'oxyder ou de fermenter les sucres et sont positifs au test de l'oxydase (Smibert, 1984).

Toutes les espèces de *Campylobacter* se multiplient à 37°C, mais les *Campylobacter* thermophiles (*C. jejuni*, *C. coli* et *C. lari*) ont une meilleure croissance à 42°C et ne se multiplie pas à une température inférieure à 25°C. Ces bacilles sont plus sensibles aux conditions défavorables, telles que la dessiccation, la chaleur, l'acidité, les désinfectants ou l'irradiation, que la plupart d'autres bactéries pathogènes intestinales (Hu et Kopecko, 2003). Les différentes caractéristiques de ces microorganismes ont pour conséquence que des méthodes d'analyse spécifiques doivent être utilisées pour leur recherche et dénombrement.

C. jejuni et *C. coli* causent plus de 95 % des campylobactérioses. Il s'agit d'une zoonose. Le réservoir en est le tractus intestinal des animaux domestiques et sauvages, particulièrement les oiseaux (Smibert, 1984; Butzler, 2004). La transmission a lieu généralement par la consommation d'aliments (viande de volaille insuffisamment cuite), d'eau, des contacts directs ou la manipulation d'animaux infectés (animaux de boucherie et de compagnie) (Hu et Kopecko, 2003). Le nombre d'infections à *Campylobacter* est clairement plus élevé en été, où plus de 40 % des cas humains ont pour origine la volaille, et 20 % une origine non alimentaire. Cela a été confirmé lors de la crise de la dioxine qui avait donné lieu au retrait du marché de tous les produits de volailles en été 1999 en Belgique (Vellinga et Van Loock, 2002).

Les mécanismes de virulence de *Campylobacter* ne sont pas encore bien connus. Ils auraient comme composantes des toxines, l'adhérence, la mobilité, la capacité de capter le fer et l'invasion bactérienne. La campylo-

bactériose est due à l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminée et donne lieu à de la fièvre, de la diarrhée et de fortes douleurs abdominales. La guérison a généralement lieu sans traitement, après 2 à 6 jours. Des infections extra-intestinales sont décrites dans 1,5 cas/1.000 infections intestinales. Les conséquences peuvent en être le syndrome de Guillain-Barré (une polyneuropathie inflammatoire aiguë résultant en une paralysie neuromusculaire) et le syndrome de Reiter (une arthropathologie impliquant de multiples articulations) (Hu et Kopecko, 2003; Butzler, 2004).

Campylobacter est fréquemment présent dans le tractus intestinal des volailles, porcs et bovins, mais en raison des techniques d'abattage de cette espèce, la viande de volaille est la principale source de contamination de l'homme (Humphrey *et al.*, 2001; Jorgensen *et al.*, 2002).

2.3. Toxi-infections alimentaires

2.3.1. Sources des toxi-infections bactériennes

Une quantification de la contribution des sources animales et alimentaires, basée sur un modèle mathématique, a montré qu'au Danemark, les œufs et les porcs étaient les sources les plus importantes de salmonelloses domestiques (Hald *et al.*, 2004). Au Royaume-Uni, les aliments à l'origine des gastroentérites aiguës sont le plus fréquemment le poulet et les œufs (Parry *et al.*, 2002; Flint *et al.*, 2005); le bœuf, l'agneau et le porc contribuent de façon importante à la mortalité (Adak *et al.*, 2005). Le poulet est une source reconnue d'épidémies à *Campylobacter* (Mazick *et al.*, 2006). D'autres types d'aliments d'origine animale sont également contaminés par *Campylobacter*, comme le foie de mouton (66,2 %) (Cornelius *et al.*, 2005), la viande crue de bœuf (3,2 %), de porc (5,1 %), de mouton (11,8 %), les huîtres (2,3 %) et le lait cru (1,6 %) (Whyte *et al.*, 2004). Des épidémies de salmonellose dues à de la viande de bœuf ont également été décrites (Centers for Disease Control and Prevention, 2006a).

La source principale de ces toxi-infections est donc l'alimentation d'origine animale. Ces différents agents bactériens peuvent être des bactéries zoonotiques, c'est-à-dire qu'ils sont susceptibles de se transmettre natu-

rellement des animaux à l'homme. Il s'agit principalement de microorganismes présents dans le tractus gastro-intestinal des bovins, porcs et volailles. La technique d'abattage, la contamination croisée des carcasses à l'abattoir, mais également des viandes lors de la transformation, voire de la distribution, peuvent entraîner une contamination du produit final. En Thaïlande, une étude simultanée réalisée à la ferme, à l'abattoir et sur le marché a montré une contamination par *Campylobacter* de, respectivement, 64 %, 38 % et 47 % pour les poulets, et de 73 %, 69 % et 23 % pour les porcs. Chez les vaches laitières et dans le lait cru, le taux était respectivement de 14 % et 5 % (Padungtod *et al.*, 2002).

Dans des abattoirs de porcs, une étude belge (Botteldoorn *et al.*, 2003) a montré que la contamination croisée par *Salmonella* est responsable de 29 % des carcasses positives et que 25 % des échantillons d'environnement de l'abattoir étaient contaminés avant le début des activités. La technique d'abattage des espèces porcine et bovine comporte cependant des étapes de diminution de la contamination bactérienne, à savoir, respectivement, le flambage et l'écorchage. Ces techniques permettent de limiter les effets de la contamination croisée. Au Royaume-Uni, un portage sain de *Salmonella* a été observé chez 23,0 % des porcs au niveau du caecum, tandis que 5,3 % des carcasses de ces mêmes animaux étaient contaminés (Davies *et al.*, 2004). Chez le bovin, seuls 0,2 % des échantillons caecaux étaient contaminés. Une étude australienne (Fegan *et al.*, 2005) a mis en évidence une contamination bovine par *Salmonella* de 68 % dans les toisons, 26 % dans les matières fécales, et 3 % sur les car-

casses à l'abattoir. Une étude réalisée dans un système belge de production intégrée de porc, a montré une prévalence de *Salmonella* dans des échantillons de fèces inférieure au stade de l'engraissement (5,6 %) par rapport à l'abattoir (47,3 %), tandis que les écouvillons de carcasses étaient positifs dans 11,2 % des cas (Korsak *et al.*, 2003).

Par contre, chez la volaille, aucune étape d'abattage n'a de tels effets. Une étude belge réalisée entre 1998 et 2000 (Heyndrickx *et al.*, 2002) a montré que la transmission horizontale de *Salmonella* entre poulets de chair lors de l'engraissement, et entre carcasses à l'abattoir est le principal facteur déterminant la contamination du produit final. En ce qui concerne *Campylobacter*, plusieurs études belges ont montré une forte contamination des poulets présentés à l'abattoir (72 %), contamination s'accroissant lors du transport et de l'abattage (79 %) (Rasschaert *et al.*, 2006 ; Rasschaert *et al.*, 2007). En effet, lorsqu'un lot de poulets a un statut *Campylobacter* positif, aucun abattoir ne peut éviter la contamination des carcasses, et certains lots négatifs donnent lieu à des carcasses contaminées (Herman *et al.*, 2003). Cette contamination est observée dans d'autres pays, comme par exemple en Hongrie où une étude a observé que 93,3 % des poulets vivants étaient contaminés par *Campylobacter* à l'abattoir, ce taux s'élevant à 100 % à la fin de la ligne de production (Jozwiak *et al.*, 2006).

Au stade de la distribution, des taux élevés de contamination par *Campylobacter* sont également observés pour les volailles, mais également dans d'autres échantillons. Dans une étude britannique, la contami-

nation des carcasses de poulets par *Salmonella* était plus élevée dans les échantillons congelés et prélevés chez les bouchers locaux, par rapport à ceux des détaillants et les carcasses fraîches (Meldrum *et al.*, 2005). Alors que la prévalence de *Campylobacter* dans le poulet est stable chez les détaillants entre 2001 et 2004, le prévalence de *Salmonella* diminue pendant cette période (Meldrum *et al.*, 2006). En Belgique, des analyses réalisées sur des carcasses et produits de volailles dans un dépôt de supermarché ont montré une contamination respectivement par *Salmonella*, *Campylobacter* et *Listeria monocytogenes* de 36,5 %, 28,5 % et 38,2 % (Uyttendaele *et al.*, 1999). En Afrique du Sud, ce pourcentage s'élevait à, respectivement, 19,2 %, 32,3 % et 19,2 % pour des carcasses de poulets provenant du commerce de détail (van Nierop *et al.*, 2005). Le tableau II donne un aperçu chiffré de la prévalences de *Salmonella* et *Campylobacter* dans les denrées alimentaires dans ces pays.

2.3.2. Index et indicateurs de contamination fécale

L'implication des denrées alimentaires d'origine animale dans nombre de toxico-infections d'origine alimentaire nécessite leur surveillance. Cependant, les procédures d'isolement et confirmation des microorganismes pathogènes qui en sont responsables comportent plusieurs étapes qui prennent un temps relativement long et sont coûteuses. Le dénombrement de certains groupes ou espèces de bactéries d'origine intestinale est une alternative étant donné que la source principale des microorganismes pathogènes est le tube digestif d'animaux domestiques. Lorsque la présence d'un certain nombre de ces bactéries dans des aliments indique la présence probable d'agents

TABLEAU II : Taux de contamination des denrées alimentaires par *Campylobacter* et *Salmonella* au stade de la distribution

Pays	Type d'échantillon	Prévalence de <i>Salmonella</i>	Prévalence de <i>Campylobacter</i>
Chili (Fernández et Pison, 1996)	foies de poulets congelés	92,90 %	
Royaume-Uni (Meldrum <i>et al.</i> , 2005)	viande poulet	77,30 %	
Royaume-Uni (Meldrum <i>et al.</i> , 2005)	carcasses de poulet	73,10 %	5,70 %
Royaume-Uni (Kramer <i>et al.</i> , 2000)	foies d'agneau	75 %	
Royaume-Uni (Kramer <i>et al.</i> , 2000)	foies de bœuf	49 %	
Belgique (Uyttendaele <i>et al.</i> , 1999)	carcasses et produits de volaille	28,50 %	36,50 %
Afrique du Sud (van Nierop <i>et al.</i> , 2005)	carcasses de poulet	32,30 %	19,20 %

pathogènes ayant une écologie semblable, on parle d'index (par exemple, *E. coli*). Lorsque leur présence signale simplement le non-respect des bonnes pratiques, on utilise plutôt le terme indicateur (Briand, 2007).

Les index d'agents pathogènes d'origine intestinale seront appelés index de contamination fécale. La présence d'autres microorganismes, tels que les staphylocoques et *Bacillus cereus*, dans les denrées alimentaires n'est pas considérée comme étant due à une contamination fécale. Bien qu'ayant un réservoir digestif, certaines autres espèces comme *Clostridium botulinum* et *Clostridium perfringens* produisent des spores qui survivent longtemps dans l'environnement, alors que les germes pathogènes associés ont disparu. Ces germes ne conviennent donc pas comme index des principaux agents pathogènes bactériens d'origine digestive (Ray, 2001).

L'index idéal des bactéries pathogènes intestinales doit répondre à de plusieurs critères. Il doit (i) appartenir à une espèce ou quelques espèces ayant des caractéristiques les rendant identifiables, (ii) être d'origine intestinale de telle sorte que sa présence rend celle des agents pathogènes d'origine intestinale possible, (iii) être non pathogène de telle sorte que sa manipulation au laboratoire ne demande pas de précautions particulières, (iv) être présent en nombre important dans les matières fécales pour être détectable lorsqu'un aliment est contaminé, même faiblement, (v) être dénombré par une méthode d'analyse simple, rapide et économique, pour libérer le produit rapidement et analyser plusieurs échantillons d'un même lot, (vi) être confirmé par une méthode d'identification rapide faisant appel par exemple à des techniques de biologie moléculaire, (vii) être dénombré même en présence d'un grand nombre de microorganismes associés, (viii) avoir les mêmes caractéristiques de survie et croissance que les microorganismes pathogènes intestinaux de telle sorte qu'il soit détectable dans un aliment contenant encore les agents pathogènes, (ix) avoir la même sensibilité aux stress physiques ou chimiques que les agents pathogènes, (x) être présent ou absent d'un aliment quand les agents pathogènes le sont également, (xi) être en quantité proportionnelle par rapport au nombre d'agents pathogènes potentiellement présents : un grand nom-

bre d'index correspond éventuellement à la présence d'un grand nombre d'agents pathogènes dans l'aliment, suite à une forte contamination fécale au départ, ou suite à une multiplication importante lors de sa conservation (Ray, 2001).

De nombreux index ont été décrits. Aucun ne répond à l'ensemble des critères. Entre la quantité d'index et d'agents pathogènes, il n'y a pas de relation de proportionnalité constante et universelle. Les agents pathogènes peuvent être absents même lorsqu'un dépassement du nombre d'index est observé ou présents sans dépassement du seuil de l'index (Briand, 2007). Pour les carcasses d'animaux de boucherie, les *E. coli* et germes aérobies totaux constituent les index ou indicateurs choisis par la majorité des auteurs, mais les coliformes totaux, les entérobactéries, les *Pseudomonas*, les staphylocoques coagulase positive sont également dénombrés en tant qu'index ou indicateur, comme le montre les tableaux III et IV. *Bifidobacterium* a également été proposé comme indicateur de contamination fécale étant donné sa présence en grande quantité dans le tube digestif des animaux et de l'homme (Beerens, 1998 ; Delcenserie *et al.*, 2002). Seuls certains sont des index au sens premier du terme ; les autres sont des indicateurs permettant de détecter d'autres défauts d'hygiène.

Aux USA, les *E. coli*, les germes aérobies totaux, les coliformes totaux, et parfois les entérobactéries sont dénombrés sur les carcasses de bœufs et de porcs à l'abattoir (Sofos *et al.*, 1999 ; Bacon *et al.*, 2000 ; Ingham et Schmidt, 2000 ; Arthur *et al.*, 2004 ; Eblen *et al.*, 2005), tout comme en Australie et à Taiwan (Sumner *et al.*, 2003 ; Yeh *et al.*, 2005). Les *E. coli*, les coliformes totaux et les entérobactéries sont dénombrées sur les carcasses de volaille (Cason *et al.*, 2004 ; Eblen *et al.*, 2005 ; Smith *et al.*, 2005).

En Europe, les entérobactéries et germes aérobies totaux sont généralement utilisés comme index ou indicateur pour les carcasses de bœufs, porcs et volailles à l'abattoir (Mead *et al.*, 1993 ; Murray *et al.*, 2001 ; McEvoy *et al.*, 2004 ; Byrne *et al.*, 2005 ; Miraglia *et al.*, 2005 ; Pearce et Bolton, 2005 ; Hutchison *et al.*, 2006). Les *E. coli* et les coliformes totaux sont également dénombrés dans certaines études, de même que les *Pseudomonas* pour les carcasses de volaille (Mead *et al.*,

1993 ; Hansson, 2001 ; Berrang *et al.*, 2002 ; McEvoy *et al.*, 2004 ; Hutchison *et al.*, 2006).

Aux stades de la transformation et de la distribution, les échantillons de viande font également l'objet de nombreuses études visant à évaluer leur qualité microbiologique, par le biais du dénombrement d'index ou indicateurs qui sont souvent *E. coli* et les germes aérobies totaux (Scanga *et al.*, 2000 ; Berrang *et al.*, 2001 ; Duffy *et al.*, 2001 ; Phillips *et al.*, 2001 ; Zhao *et al.*, 2001 ; Elson *et al.*, 2004), avec éventuellement les coliformes totaux ou les entérobactéries (Scanga *et al.*, 2000 ; Berrang *et al.*, 2001 ; Elson *et al.*, 2004).

3. PLANS DE SURVEILLANCE DES MICROORGANISMES DANS LES DENRÉES ALIMENTAIRES

3.1. Plans de surveillance des denrées alimentaires d'origine animale

De nombreux plans de surveillance ont été mis en place dans les abattoirs, ateliers de transformation et détaillants de carcasses et viande de bovins, porcins et volailles. Les tableaux V et VI résument les objectifs et techniques d'échantillonnage de 14 études.

Leur objectif principal est souvent de disposer de données microbiologiques nationales dans une filière ou un type de produit pour les flores indicatrices, index, d'altération ou des agents pathogènes. Les carcasses, viandes et éventuellement l'équipement d'abattage sont échantillonnés. En outre, un objectif complémentaire est souvent décrit. Il s'agit de déterminer l'évolution de la situation microbiologique suite à une intervention (par exemple pour vérifier l'efficacité de la mise en place de plans HACCP qui est une méthodologie d'identification et d'évaluation des dangers associés aux différentes étapes d'une production dans le but de définir les moyens nécessaires à leur maîtrise), de déterminer l'effet du type d'établissement (en fonction de sa taille, la technique d'éviscération de l'abattoir, la chaîne de supermarché), de la saison, de l'origine de la viande, de comparer ou développer des méthodes d'échantillonnage, ou de comparer la situation nationale par rapport à la réglementation européenne. D'autres études visaient à établir des critères

TABLEAU III : Flores bactériennes, méthodes d'analyse et d'échantillonnage utilisées pour les carcasses de bœufs, porcs et volailles à l'abattoir

Type d'échantillon	Bactéries	Méthode d'analyse	Méthode d'échantillonnage	Pays
carcasses de bœuf (Sofos <i>et al.</i> , 1999)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux et coliformes totaux, <i>Salmonella</i>	FSIS	excision	USA
carcasses de bœuf (Ingham et Schmidt, 2000)	<i>E. coli</i> présumés, entérocoques	Pétrifilm (EC), DMG (EnC)	éponges	USA
carcasses de bœuf (Arthur <i>et al.</i> , 2004)	entérobactéries, germes aérobies totaux, <i>E. coli</i> O157	Bactometer ou Pétrifilm (GAT, EnT), NPP (EC O157)	éponges	USA
carcasses de bœuf (Bacon <i>et al.</i> , 2000)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux et coliformes totaux	Pétrifilm (EC), DMG-PCA-35° (GTA)	éponges	USA
carcasses de bœufs, porcs, dindes, oies (Eblen <i>et al.</i> , 2005)	<i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i>	FSIS (EC), PR/HACCP (SLM)	éponges	USA
carcasses de poulets (Cason <i>et al.</i> , 2004)	<i>E. coli</i> , entérobactéries et coliformes totaux, <i>Campylobacter</i> (dénombrement)	DMG-VRBG (EnT), Pétrifilm (CT, EC), DMG-Campy-Cefex agar (CAM)	rinçage et peau	USA
carcasses de poulets (Smith <i>et al.</i> , 2005)	<i>E. coli</i> , coliformes totaux, <i>Campylobacter</i> et <i>Salmonella</i> (nalidixic acid-résistant <i>Salmonella</i>)	Pétrifilm (CT et EC), DMG-BG Sulfa agar (SLM), DMG-Campy-Cefex agar (CAM)	rinçage	USA
carcasses de porcs (Yeh <i>et al.</i> , 2005)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux, coliformes totaux <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i> et <i>Listeria monocytogenes</i>	FSIS (GAT, EC), AOAC (CAM)	éponges	Taiwan
carcasses de porcs (Rho <i>et al.</i> , 2001)	germes aérobies totaux, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Salmonella</i> et <i>Yersinia enterocolitica</i>	FDA BAM	écouvillon stérile	Corée
carcasses de bœufs et chèvres (Sumner <i>et al.</i> , 2003)	<i>E. coli</i> et germes aérobies totaux	Pétrifilm (GAT, EC)	éponges	Australie
carcasses de bœuf (McEvoy <i>et al.</i> , 2004)	<i>E. coli</i> , coliformes totaux, entérobactéries et germes aérobies totaux	DMG-PCA-25° (GAT), DMG-chromocult coliforme agar (EC), DMG-VRBGA-37° (EnT)	cotons-tiges (dans MRD)	Irlande
carcasses de bovins et ovins (Byrne <i>et al.</i> , 2005)	entérobactéries et germes aérobies totaux	DMG-PCA-25° (GAT), DMG-VRBGA-37° (EnT)	excision et éponges (éponges dans MRD)	Irlande
carcasses de bœuf, porc et agneau (Pearce et Bolton, 2005)	entérobactéries et germes aérobies totaux	DMG-PCA-25° (GAT), DMG-VRBGA-37° (EnT)	excision et éponges (éponges dans MRD)	Irlande
carcasses de bœufs (Murray <i>et al.</i> , 2001)	entérobactéries, germes aérobies totaux, levures et moisissures	DMG-Nutrient-37° (GAT), DMG-VRBG-37° (EnT), DMG (LeM)	6 écouvillons différents (dont coton et commerciaux et 2 types d'éponges)	Irlande du Nord
carcasses de poulets, dindes (Mead <i>et al.</i> , 1993)	entérobactéries, germes aérobies totaux, coliformes totaux ou <i>Pseudomonas</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	DMG-PCA-30° (GAT), DMG-VRGA-37°, DMG-Pseudomonas Agar (Ps), DMG (SA)	peau du cou	Royaume-Uni
carcasses de poulets (Berrang <i>et al.</i> , 2002)	<i>E. coli</i> , coliformes totaux, germes aérobies totaux, coliformes totaux, <i>Campylobacter</i>	Pétrifilm (CT, EC), DMG-PCA-37° (GAT), DMG-Campy-Cefex agar (CAM)	rinçage de la carcasse entière ou écouvillons de toute la carcasse (éponges et PBS)	Royaume-Uni
carcasses de poulets, dindes (Hutchison <i>et al.</i> , 2006)	entérobactéries, germes aérobies totaux, <i>Pseudomonas</i> , <i>E. coli</i>	DMG-PCA-30° (GAT, ISO 4833), DMG-VRBGA-37° (EnT, ISO 5552), DMG-tryptone bile X-glucuronide agar (EC), DMG-CFC (Ps)	peau du cou (MRD) et rinçage de la carcasse entière	Royaume-Uni
carcasses de bœufs et porcs (Hansson, 2001)	<i>E. coli</i> présumés, germes aérobies totaux, coliformes totaux, staphylocoques coagulase positive	DMG-PCA-30° (GAT), DMG-Baird-Parker-37° (SA), DMG-VRBA-37° (CT), DMG-VRBA-44° (EC)	écouvillons en coton stérile (avec PS)	Suède
carcasses de bœuf et de porc (Miraglia <i>et al.</i> , 2005)	entérobactéries et germes aérobies totaux	DMG-PCA-37° (GAT), DMG-VRBG-37° (EnT)	excision et écouvillonnage humide et sec	Italie
carcasses de porcs (Bonardi <i>et al.</i> , 2003)	<i>Salmonella</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>E. coli</i> O157	DMG-SC-RV (SLM, ISO 6579), méthode Zeng et Xie (Yer), séparation immunomagnétique (EC O157)	écouvillons	Italie
carcasses de porcs (Botteldoorn <i>et al.</i> , 2003)	<i>Salmonella</i>	MRT-RV et MRMS-Diasalm (SLM)	écouvillons	Belgique

TABLEAU IV : Flores bactériennes, méthodes d'analyse et d'échantillonnage utilisées pour les viandes de bœufs, porcs et volailles au stade de la transformation et de la distribution

Type d'échantillon	Bactéries	Méthode d'analyse	Méthode d'échantillonnage	Pays
viande de découpe et de la viande hachée de bœuf (Scanga <i>et al.</i> , 2000)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux et coliformes totaux, <i>Salmonella</i> et <i>Listeria monocytogenes</i>	Pétrifilm (GAT, EC, CT), DMG-Baird Parker (SA), FSIS (SLM), MRT-UVM (LMO)	500 g	USA
morceaux de découpe de poulets (Berrang <i>et al.</i> , 2001)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux, coliformes totaux et <i>Campylobacter</i>	DMG-PCA-35° (GAT), Pétrifilm (EC, CT), DMG-Campy-Cefex agar (CAM)	peau ou morceau de viande (si sans peau)	USA
produits de porc : muscles entiers, viande hachée, saucisse de porc, viande marinée (Duffy <i>et al.</i> , 2001)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux, <i>Salmonella</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Campylobacter</i> et <i>Yersinia enterocolitica</i>	FSIS	300 g	USA
viandes crues de poulet, dinde, porc et bœuf (carcasses de poulet, filet de dinde, steaks de bœuf, découpe de porc) (Zhao <i>et al.</i> , 2001)	<i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i> et <i>Salmonella</i>	FDA-BAM	unité d'emballage : rinçage de l'échantillon	USA
viande de bœuf (Phillips <i>et al.</i> , 2001)	<i>E. coli</i> et germes aérobies totaux <i>Salmonella</i> , staphylocoques coagulase positive et <i>E. coli</i> O157:H7	MRT (EC 0157), DMG-Baird Parker (SA), MRT-SC-RV (SLM)	prélèvement de parties congelées : 100 g	Australie
viandes prêtes à la consommation et de pâtés (Elson <i>et al.</i> , 2004)	<i>E. coli</i> , germes aérobies totaux et entérobactéries, <i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i> et <i>Listeria monocytogenes</i>	HPA	100 g	Royaume-Uni
Carcasses et produits de poulets (découpe, préparations) (Uyttendaele <i>et al.</i> , 1998)	<i>Salmonella</i>	MRT-RV (SLM)	peau ou morceau de viande (si sans peau)	Belgique

Légende des tableaux III et IV

AOAC : méthode AOAC pour la recherche de *Campylobacter* (milieux HEB + MCCD agar)
 CAM : recherche ou dénombrement de *Campylobacter*
 CT : dénombrement des coliformes totaux
 DMG : dénombrement sur milieu gélosé
 DMG-x-y° : dénombrement sur milieu gélosé en utilisant le milieu x incubé à la température y
 EC O157 : recherche d'*E. coli* O157
 EC : dénombrement d'*E. coli*
 EnC : dénombrement d'entérocoques
 EnT : dénombrement des entérobactéries
 FDA BAM : méthode du Bacteriological Analytical Manual de la FDA (Food and Drug Association) des USA
 FSIS : méthode officielle du Food and Safety and Inspection Service (FSIS) de l'U.S. Department of Agriculture (USDA), (méthode utilisant les Pétrifilm pour le dénombrement d'*E. coli* - tetrathionate, RV pour la recherche de *Salmonella*)
 GAT : dénombrement de germes aérobies totaux

HPA : méthode de la Health Protection Agency (pour CAM : bolton, CCDA)
 LeM : levures et moisissures
 LMO : *Listeria monocytogenes*
 MRD : maximum recovery diluant
 MRSM : méthode de recherche utilisant un milieu semi-solide
 MRSM-x : méthode de recherche utilisant le milieu semi-solide x
 MRT : méthode de recherche traditionnelle
 MRT-x : méthode de recherche traditionnelle en utilisant le milieu x
 NPP : dénombrement par la technique du nombre le plus probable
 Pétrifilm : méthode de dénombrement sur milieu commercial Pétrifilm (3M Health Care, St Paul, USA)
 PR/HACCP : méthode officielle des USA (Federal Register)
 Ps : dénombrement de *Pseudomonas spp*
 RV : milieu Rappaport-Vassiliadis
 SA : dénombrement de *Staphylococcus aureus*
 SC : milieu sélénite-cystine
 SLM : recherche de *Salmonella*
 Yer : recherche de *Yersinia enterocolitica*

de performances, à vérifier si l'utilisation de bactéries indicatrices ou index était appropriée, ou à déterminer la contribution des différentes sources de contamination des carcasses. Les modalités d'échantillonnage varient de façon importante en fonction des études. Les articles scientifiques repris dans le tableau V montrent que 36 à 21.492 échantillons ont été prélevés dans 1 à 735 abattoirs (correspondant à l'ensemble des abattoirs des USA sous inspection fédérale) sur une période de une semaine à 18 mois. Au stade de la transformation et de la distribution, le tableau VI montre que

237 à 4078 échantillons de viandes ont été prélevés dans 8 à 1658 établissements, ou au niveau du centre de distribution d'une chaîne de distribution. Les prélèvements sont parfois réalisés par les services d'inspection compétents.

3.2. Méthodes d'échantillonnage

3.2.1. Echantillonnage de l'environnement et des animaux

En exploitation, des échantillons d'aliments pour animaux, de matières fécales, de poussières, de surchaussures sont prélevés ou un monitoring sérologique est réalisé pour détermi-

ner le statut d'un troupeau vis-à-vis de *Salmonella* ou *Campylobacter* (Korsak *et al.*, 2003 ; Hofshagen et Kruse, 2005 ; Van Overbeke *et al.*, 2006).

À chacune des étapes des filières de production de viande, la contamination bactérienne de l'environnement peut être contrôlée pour vérifier les procédures de nettoyage et désinfection, mais également pour apprécier la contamination du matériel par les animaux ou la viande lors de leur manipulation. Des écouvillons, des boîtes de contacts, des tests d'ATPmétrie ou de

TABLEAU V : Objectifs et échantillonnage utilisées pour les carcasses de bœufs, porcs et volailles à l'abattoir

Type d'échantillon	Objectif	Echantillonnage	Pays
Viande de bœuf (Phillips <i>et al.</i> , 2001)	Déterminer la qualité microbiologique de la viande et comparer avec une étude précédente	- n = 1275 - lieux : 28 abattoirs (grands et moyens : 200-300 animaux/jour) dans tous les états d'Australie et représentant la production bovine statistiquement + 31 très petits abattoirs (> 150 animaux/semaine) - période : juin-novembre 1998 - prise d'échantillons : les mardi, mercredi et jeudi, 28-39 échantillons prélevés à chaque visite (1-20 pour les très petits abattoirs) et 1 visite par abattoir	Australie
carcasses de bœuf (Sofos <i>et al.</i> , 1999)	Statut microbiologique des carcasses de bœuf aux USA en 1995 et 1996 et déterminer l'effet de la saison (sèche – humide)	- n = 3780 - lieux : 7 établissements situés dans 6 états - période : novembre 1995 - janvier 1996 et mai 1996 - juin 1996 - prise d'échantillons : 270 échantillons prélevés dans chaque établissement à chaque visite et 2 visites par établissement	USA
carcasses de bœuf (Ingham et Schmidt, 2000)	Déterminer l'incidence des microorganismes sur les carcasses de bovins et l'équipement d'abattage	- n = 79 carcasses - lieux : 1 petit abattoir - période : février 1999 - juin 1999 - prise d'échantillons : 6 échantillons prélevés par abattoir par semaine	USA
carcasses de bœufs, porcs, dindes, oies (Eblen <i>et al.</i> , 2005)	Disposer de données microbiologiques nationales	- n = 1881 échantillons de bovins et 2127 de porcs - lieux : tous les établissements sous inspection fédérale pour l'abattage de bovins et de porcs (environ 735 et 680) - période : juin 1997 - mai 1998 (52 semaines) - prise d'échantillons : les établissements étaient sélectionnés au hasard sur base de leur production annuelle	USA
carcasses de porcs (Yeh <i>et al.</i> , 2005)	Construire des bases de données pour établir la situation pour les carcasses de porc et évaluer l'effet « abattoir »	- n = 1650 (pour indicateurs) et 1038 (pour pathogènes) - lieux : 39 établissements situés dans 16 comtés de Taiwan - période : novembre 1995 - janvier 1996 et mai 1996 - juin 1996 - prise d'échantillons : 10 échantillons prélevés dans chaque établissement à chaque visite et 2 à 3 visites par établissement par an	Taiwan
carcasses de bœufs et chèvres (Sumner <i>et al.</i> , 2003)	Surveillance microbiologique des carcasses dans les abattoirs de l'état et les très petits abattoirs, et modifications de l'hygiène de la viande après 5 ans d'HACCP	- n = 159 de bovins - lieux : 4 des 5 abattoirs moyens ou grands et 13 des 41 très petits abattoirs situés dans une région géographiquement définie - période : 1 semaine en mars 2002 - prise d'échantillons : 1 visite par établissement	Australie
carcasses de bœuf (McEvoy <i>et al.</i> , 2004)	Examiner la contamination microbienne de carcasses de bœufs et comparer par rapport aux critères de la directive 2001/471/CE	- n = 36 - lieux : 1 abattoir - période : 12 mois - prise d'échantillons : au niveau de 8 stades d'abattage	Irlande
carcasses de bœufs (Murray <i>et al.</i> , 2001)	Développer une méthode d'échantillonnage non destructive et déterminer la qualité microbiologique de carcasses de bovins	- n = 420 - lieux : les 7 principaux abattoirs de bovins - période : 9 mois - prise d'échantillons : 20 échantillons de carcasses sélectionnées au hasard prélevés à chaque visite et 3 visites par abattoir	Irlande du Nord
carcasses de poulets, dindes (Mead <i>et al.</i> , 1993)	Surveillance pour déterminer l'extension de la contamination microbiologique des carcasses (germes totaux aérobies, germes fécaux et d'altération)	- n = 60 (poulets) 15 (dindes) - lieux : 4 abattoirs de poulets et 1 de dindes - période : 5 mois - prise d'échantillons : 5 échantillons prélevés à chaque visite et 3 visites par abattoir	Grande-Bretagne
carcasses de bovins (Vanderlinde <i>et al.</i> , 2005)	Etablir des critères de performances dans les abattoirs sur base du monitoring d' <i>E. coli</i> et <i>Salmonella</i> (ESAM) imposé par l' <i>Australian Quarantine and Inspection Services</i> (AQIS)	- n = 21.492 bovins - lieux : plus de 36 abattoirs - période : janvier 2000 - juin 2001 (18 mois) - prise d'échantillons : -	Australie
carcasses de poulets, dindes (Hutchison <i>et al.</i> , 2006)	Déterminer s'il est approprié d'utiliser des populations de bactéries indicatrices pour la vérification des processus et comparaison de 2 méthodes d'échantillonnage	- n = environ 780 (60 pour comparer les méthodes) - lieux : 1-18 abattoirs en fonction de l'objectif - période : février 2003 - février 2004 - prise d'échantillons : 15 échantillons prélevés par visite (une fois par semaine) ; pour comparaison des méthodes d'échantillonnage : 20 échantillons prélevés par visite (2 jours différents par semaine)	Grande-Bretagne
carcasses de bœufs et porcs (Hansson, 2001)	Déterminer l'incidence de différentes bactéries sur les carcasses et comparer les abattoirs de faible ou grande capacité et la technique d'éviscération	- n = 200 bovins et 200 porcs - lieux : 8 abattoirs de bovins et 8 abattoirs de porcs (dont 4 de faible capacité choisis au hasard et 4 de grande capacité sélectionnés parmi les plus grands producteurs) - période : 1998 - prise d'échantillons : 25 carcasses prélevées par abattoir lors d'au moins 3 visites	Suède
Carcasses de porcs (Bonardi <i>et al.</i> , 2003)	Déterminer le portage de <i>Salmonella</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> et <i>E. coli</i> O157 à l'abattoir et le taux de contamination des carcasses	- n = 150 - lieux : 2 grands abattoirs dans le nord de l'Italie - période : décembre 1999 - décembre 2000 - prise d'échantillons : lors de 23 visites	Italie
Carcasses de porcs (Botteldoorn <i>et al.</i> , 2003)	Contribution des différentes sources de contamination des carcasses de porcs par <i>Salmonella</i>	- n = 53 - lieux : 5 abattoirs (300-600 porcs/heure) dans l'ouest de la Belgique - prise d'échantillons : 2 échantillons prélevés à chaque visite et 3 visites par abattoir	Belgique

TABLEAU VI : Objectifs et échantillonnage utilisés pour les viandes de bœufs, porcs et volailles au stade de la transformation et de la distribution

Type d'échantillon	Objectif	Echantillonnage	Pays
viande de découpe et viande hachée de bœuf (Scanga <i>et al.</i> , 2000)	Contamination microbienne : comparaison des différents origines de viande hachée (contenu en graisse, type et origine des bovins)	8 établissements d'emballage/hachage 19 emballages individuels, 237 échantillons de découpe et 284 échantillons de viande hachée	USA
produits de porc : muscles entiers, viande hachée, saucisse de porc, viande marinée (Duffy <i>et al.</i> , 2001)	Evaluer la contamination microbiologique de produits de porcs au niveau de la transformation et du commerce de détail	- n = 384 échantillons (commerces) - lieux : 24 magasins situés dans 6 villes - période : novembre 1995 - janvier 1996 et mai 1996 - juin 1996 - prise d'échantillons : 4 échantillons de chaque type de produits à été prélevé dans chaque magasin sur une période de 2 jours	USA
viandes crues de poulet, dinde, porc et bœuf (carcasses de poulet, filet de dinde, steaks de bœuf, découpe de porc) (Zhao <i>et al.</i> , 2001)	Déterminer la prévalence de <i>Campylobacter</i> , <i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> et associer la prévalence avec le type de production, la saison, la chaîne de supermarché	- n = 882 - lieux : magasins de détail et 4 chaînes de supermarchés - période : juin 1999 - juillet 2000 (14 mois) - prise d'échantillons : le lundi, 8 échantillons prélevés dans 4 magasins choisis au hasard	USA
Viande de bœuf (Phillips <i>et al.</i> , 2001)	Déterminer la qualité microbiologique de la viande et comparer avec une étude précédente	- n = 990 - lieux : 30 ateliers de découpe dans tous les états d'Australie - période : juin 1998 - novembre 1998 - prise d'échantillons : les mardi, mercredi et jeudi, 28-39 échantillons prélevés à chaque visite et 1 visite par établissement	Australie
viandes prêtes à la consommation et pâtés (Elson <i>et al.</i> , 2004)	Etablir la qualité microbiologique aux stades de la restauration et du commerce de détail	- n = 4078 - lieux : 630 restaurants et 1658 magasins - période : 1 ^{er} mai 2002 - 30 juin 2002 - prise d'échantillons : -	Grande-Bretagne
Carcasses et produits de poulets et de dinde (découpe, préparations) (Uyttendaele <i>et al.</i> , 1998)	Disposer de plus d'informations sur la prévalence de <i>Salmonella</i> dans les produits crus de volaille vendus en Belgique	- n = 1895 - lieux : le centre de distribution d'une grande chaîne de supermarchés - période : 1993 - 1996 - prise d'échantillons : 1 fois par mois	Belgique
Carcasses et produits de poulets (découpe, préparations) (Uyttendaele <i>et al.</i> , 1999)	Déterminer l'incidence par <i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i> et <i>Listeria monocytogenes</i> distribués sur le marché belge	- n = 772 - lieux : dans le dépôt d'une grande chaîne de supermarchés - période : janvier 1997 - mai 1998 - prise d'échantillons : une fois par mois	Belgique

Légende des tableau V et VI

n : nombre d'échantillons prélevés

sédimentation des bactéries présentes dans l'air ambiant sont réalisés pour la recherche d'agents pathogènes tels que *Salmonella* et *Campylobacter* ou le dénombrement d'indicateurs (Rho *et al.*, 2001 ; Jozwiak *et al.*, 2006). À l'abattoir, le prélèvement de matière fécale, du contenu du caecum, de certains organes ou de ganglions sur les animaux permet également de déterminer le statut d'un animal (Korsak *et al.*, 2003 ; Barrios *et al.*, 2006 ; Lindblad *et al.*, 2006 ; Rasschaert *et al.*, 2006).

Cette synthèse se concentrera plus particulièrement sur les méthodes d'échantillonnage des carcasses et des viandes à l'abattoir, aux stades de la transformation et de la distribution.

3.2.2. Echantillonnage à l'abattoir

Il existe plusieurs méthodes d'échantillonnage des carcasses à l'abattoir. Elles utilisent des techniques différentes en termes de prélèvement, de surfaces et de matériel. Leur utilisation

dépend en premier lieu de l'espèce animale : les bovins, porcins, ovins (animaux de boucherie), d'une part, et la volaille, d'autre part.

Dans des études réalisées aux USA, en Australie, Corée et à Taiwan, les méthodes de prélèvement de carcasses d'animaux de boucherie sont souvent la méthode officielle du *Food Safety and Inspection Service* (FSIS) de l'*U.S. Department of Agriculture* (USDA). Les carcasses sont écouvillonnées en utilisant une éponge stérile hydratée d'eau peptonée ou d'eau peptonée tamponnée. Trois zones de 100 cm² sont échantillonnées. Chez le bovin, elles se situent sur le flanc, le thorax (le gros bout de poitrine) et le rumsteak (au niveau du bassin), et sur la poitrine, le jambon et la gorge chez le porc (Bacon *et al.*, 2000 ; Ingham et Schmidt, 2000 ; Rho *et al.*, 2001 ; Eblen *et al.*, 2005 ; Yeh *et al.*, 2005). D'autres surfaces peuvent être échantillonnées : de 200 cm² (Sumner *et al.*, 2003) à 4000 cm² (Arthur *et al.*, 2004) au total. Le prélèvement de tissu de surface musculo-adipeux, appelé exci-

sion, est également une méthode utilisée aux USA sur les mêmes surfaces que celles décrites ci-dessus (Sofos *et al.*, 1999).

En Europe, le prélèvement est également réalisé par écouvillonnage ou par excision. Les écouvillons sont le plus souvent utilisés selon la technique du « *wet and dry* » : la surface est frottée, d'abord après humidification de l'écouvillon à l'aide d'une solution de peptone-sel (*maximum recovery diluent* ou MRD), et ensuite en utilisant une face sèche de l'écouvillon ou un autre écouvillon. Différents types d'écouvillons sont utilisés : le coton-tige (McEvoy *et al.*, 2004), l'éponge (Byrne *et al.*, 2005 ; Pearce et Bolton, 2005), le torchon et l'éponge ménagères (Murray *et al.*, 2001), le coton stérile (Korsak *et al.*, 1998 ; Hansson, 2001 ; Murray *et al.*, 2001 ; Botteldoorn *et al.*, 2003). Quatre zones sont le plus souvent échantillonnées : le collier, le thorax (ou gros bout de poitrine), le flanc et le rumsteak (au niveau du bassin) chez le bœuf, et la gorge, la poitrine, le dos et le jambon chez le

porc (Byrne *et al.*, 2005 ; Miraglia *et al.*, 2005). En Belgique, 4 zones par demi-carcasse correspondant à 600 cm² chez le porc et 1600 cm² chez le bœuf sont échantillonnées : le membre antérieur, le sternum, le bassin et le jambon chez le porc et le membre antérieur, le thorax, le flanc et le rumsteak chez le bœuf (Korsak *et al.*, 1998 ; Botteldoorn *et al.*, 2003). D'autres auteurs écouvillonnent seulement 2 zones : le rumsteak et le sternum des bœufs et porcs, pour une surface totale de 200 cm² (Hansson, 2001), la gorge et le sternum de porcs pour une surface totale de 800 cm² (Bonardi *et al.*, 2003).

L'excision est réalisée en utilisant un emporte-pièce et un scalpel. La surface totale est alors de 20 cm² (Byrne *et al.*, 2005) à 25 cm² (Miraglia *et al.*, 2005).

Conformément à la réglementation en vigueur, l'écouvillonnage est généralement réalisé avant le processus de refroidissement des carcasses en Europe, et après celui-ci aux USA (De Zutter *et al.*, 1982 ; Dorsa *et al.*, 1996 ; United States Department of Agriculture, 1996 ; Vanderlinde *et al.*, 1998 ; Phillips *et al.*, 2001 ; Byrne *et al.*, 2005 ; Commission européenne, 2005b ; Hutchison *et al.*, 2005 ; Miraglia *et al.*, 2005). Le taux de récupération des microorganismes des carcasses de porcs et bœufs prélevées après refroidissement par rapport aux carcasses échantillonnées juste après le processus d'abattage varie entre 4 % et 100 % par la méthode d'excision et entre 43 % et 93 % par la méthode d'écouvillonnage (Sofos *et al.*, 1999 ; Ware *et al.*, 1999 ; Yu *et al.*, 2001). L'attachement irréversible des bactéries et biofilms formés au niveau des anfractuosités superficielles de la peau peut provoquer une diminution du nombre de bactéries retrouvées 30 minutes à quelques heures après abattage (Yu *et al.*, 2001 ; Capita *et al.*, 2004).

Plusieurs auteurs européens ont comparé les méthodes d'écouvillonnage et d'excision pour le dénombrement des germes aérobies totaux, *E. coli* ou entérobactéries. Certains auteurs obtiennent une meilleure récupération bactérienne par excision par rapport à des écouvillons en coton, compresse médicale, ou éponge en acétate de cellulose (Gill et Jones, 2000 ; Miraglia *et al.*, 2005). D'autres (Byrne *et al.*, 2005 ; Pearce et Bolton, 2005) ont

montré que l'écouvillonnage au moyen d'une éponge en polyuréthane est aussi efficace que l'excision et concluent qu'il s'agit d'une bonne alternative à l'excision qui a l'avantage d'être non-destructive pour la carcasse, d'être plus aisée et rapide à réaliser. Une étude irlandaise a testé des compresses en coton, éponges et torchons de ménage, éponges pour écouvillonnage et a montré une bonne récupération des souches bactériennes, une facilité d'utilisation, et un coût intéressant des éponges ménagères (Murray *et al.*, 2001).

Une norme internationale, ISO 17.604 (Organisation internationale de normalisation, 2003d), traite du prélèvement d'échantillons sur des carcasses en vue de leur analyse microbiologique. Elle précise des méthodes de prélèvement en vue de la recherche et du dénombrement des microorganismes à la surface de carcasses d'animaux de boucherie venant d'être abattus. L'échantillonnage microbiologique peut être effectué dans le cadre du contrôle des processus de fabrication (et pour en vérifier la maîtrise) dans les abattoirs d'animaux de boucherie, du système de contrôle de l'évaluation des risques appliqué à la sécurité des produits, et des programmes de surveillance pour la prévalence des microorganismes pathogènes. Cette norme prévoit l'emploi de techniques destructives et non destructives, en fonction de l'objectif du prélèvement d'échantillons. La méthode destructive permet la récupération de plus de bactéries que la méthode d'écouvillonnage, et possède une répétabilité et une reproductibilité moins variables. Cependant, cette méthode ne permet le prélèvement que d'une petite proportion de la carcasse et peut entraîner des conséquences préjudiciables pour la carcasses. Le lieu au niveau de l'abattoir et l'endroit de la carcasse où auront lieu les prélèvements doivent être choisis en fonction des pratiques de l'abattoir. Ils doivent être choisis en fonction des étapes du processus identifiées comme problématiques et doivent correspondre aux emplacements présentant la plus grande prévalence de contamination (Organisation internationale de normalisation, 2003d).

Aux USA et en Europe, les carcasses de volailles à l'abattoir font le plus souvent l'objet d'un prélèvement de peau du cou (Mead *et al.*, 1993 ; Hutchison *et al.*, 2006), ou de l'échantillonnage par rinçage de la totalité de la carcasse

(Berrang *et al.*, 2002 ; Cason *et al.*, 2004 ; Smith *et al.*, 2005 ; Hutchison *et al.*, 2006). Des études montrent, d'une part, que l'excision de peau de cou est à préférer parce qu'elle est plus pratique, plus rapide, moins chère, plus reproductible, et d'autre part, que le cou est le meilleur endroit pour prélever la peau qui y contient un nombre représentatif de *Salmonella* et dont le prélèvement ne déprécie pas la valeur de la carcasse (Kotula et Davis, 1999 ; Hutchison *et al.*, 2006). Les dindes et les oies sont écouvillonnées au moyen d'une éponge (Eblen *et al.*, 2005) ou par excision de peau du cou (Mead *et al.*, 1993).

3.2.3. Echantillonnage dans les secteurs de la transformation et de la distribution

Dans les salles de découpe et de transformation de viande de bœuf et de porc, les échantillons sont prélevés directement sur les lots de viande disponibles (Scanga *et al.*, 2000 ; Duffy *et al.*, 2001 ; Phillips *et al.*, 2001 ; Elson *et al.*, 2004). Quand il s'agit de carcasses ou de morceaux de découpe de volaille, l'analyse est réalisée sur la peau, une partie de l'échantillon sans peau ou le liquide de rinçage (Uyttendaele *et al.*, 1998 ; 1999 ; Berrang *et al.*, 2001 ; Zhao *et al.*, 2001). Une étude allemande a montré que la méthode de rinçage était équivalente à l'homogénéisation de la peau de cuisses de poulets pour la recherche et le dénombrement de *Campylobacter* (Scherer *et al.*, 2006). L'échantillon prélevé dans les entreprises est, soit un emballage commercial, soit d'un poids entre 75 et 500 g (Uyttendaele *et al.*, 1999 ; Scanga *et al.*, 2000 ; Berrang *et al.*, 2001 ; Duffy *et al.*, 2001 ; Phillips *et al.*, 2001 ; Zhao *et al.*, 2001 ; Elson *et al.*, 2004).

3.3. Méthodes d'analyse

Les laboratoires de microbiologie des aliments ont l'avantage d'avoir à leur disposition de nombreuses méthodes d'essais standardisées, c'est-à-dire normalisées et validées. Des instances internationales telles que l'ISO (Organisation internationale de Normalisation), des instances nationales comme la FDA (*Food and Drug Association* des Etats Unis d'Amérique et son *Bacteriological Analytical Manual*), l'AFNOR (Association française de Normalisation), le DIN (*Deutsches Institut für Normung*), le NEN (*Nederlands Europese norm*,

Nederlands normalisatie instituut), le NMKL (*Nordisk metodikkomitté för livsmedel*) publient des méthodes dites normalisées, c'est-à-dire des méthodes reconnues au niveau national ou international et dont la justesse, la sensibilité et la fidélité sont connues. Certaines de ces organisations valident également des méthodes commerciales. Ces méthodes dites alternatives sont souvent plus rapides que les méthodes traditionnelles et peuvent consister en un milieu de culture différent (par exemple par son support, par la mise en évidence des bactéries-cibles par une coloration spécifique), une automatisation ou une technique

immunologique, de biologie moléculaire, de bioluminescence, d'impédancemétrie... (de Boer et Beumer, 1999 ; Ghafir et Daube, 1999).

L'utilisation de méthodes normalisées ou de méthodes alternatives validées par un organisme de normalisation permet aux laboratoires de ne plus devoir mettre en place des procédures de validation visant à démontrer les performances de leurs méthodes, mais uniquement leur maîtrise au laboratoire. Cependant, l'utilisation d'une méthode non normalisée qui a des performances équivalentes ou supérieures, d'une technologie plus moderne qui a un degré de validation adéquat pour l'uti-

lisation recherchée peut être intéressante lorsqu'aucune méthode normalisée n'existe ou pour réduire les coûts d'analyse (Ghafir et Daube, 1999).

En Belgique, l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA) publie une liste de méthodes reconnues que les laboratoires doivent appliquer lorsqu'ils analysent des denrées alimentaires dans le cadre du programme de contrôle de l'AFSCA et dans le cadre de l'auto-contrôle. Il s'agit de méthodes ISO et de méthodes commerciales validées selon les exigences de la norme ISO 16.140 (Organisation internationale de normalisation, 2003c).

TABLEAU VII : Méthodes reconnues par l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire pour les principales flores indicatrices dans les denrées alimentaires d'origine animale (en date du 27/4/2007)

Flore	Code de la méthode	Titre de la méthode
Dénombrement de germes aérobies totaux	ISO 4833	Méthode horizontale pour le dénombrement des microorganismes – technique de comptage des colonies à 30°C
	NF V-08-051 (1)	Dénombrement des microorganismes par comptage des colonies obtenues à 30°C – méthode de routine
	AFNOR-3M-01/1-09/89 (2)	Pétrifilm flore totale
	AFNOR BIO-12/15-09/05 (2)	TEMPO TVC flore mésophile aérobie revivifiable
Dénombrement des entérobactéries	ISO 21.528-1	Méthodes horizontales pour la recherche et le dénombrement des Enterobacteriaceae - Partie 1 : recherche et dénombrement à l'aide de la technique NPP avec préenrichissement
	ISO 21.528-2	Méthodes horizontales pour la recherche et le dénombrement des Enterobacteriaceae - Partie 1 : méthode par comptage des colonies
	NF-V-08-054 (1)	Dénombrement des entérobactéries par comptage des colonies à 30°C – Méthode de routine
	AFNOR 3M-01/6-09/97 (2)	Pétrifilm Enterobacteriaceae
	AFNOR BIO-12/21-12/06 (2)	Tempo EB
Dénombrement des <i>E. coli</i>	ISO 16.649-1	Méthode horizontale pour le dénombrement des <i>E. coli</i> bêta-glucuronidase positive - Partie 1: Technique de comptage des colonies à 44°C au moyen de membranes et de 5-bromo-4-chloro-3-indolyl bêta-D glucuronate
	ISO 16.649-2	Méthode horizontale pour le dénombrement des <i>E. coli</i> bêta-glucuronidase positive - Partie 2: Technique de comptage des colonies à 44°C au moyen de 5-bromo-4-chloro-3-indolyl bêta-D glucuronate
	NF V-08-017	Directives générales pour le dénombrement des coliformes fécaux et d' <i>E. coli</i>
	NF V-08-053 (1)	Méthode horizontale pour le dénombrement des <i>E. coli</i> bêta-glucuronidase positive par comptage des colonies à 44°C au moyen de 5-bromo-4-chloro-3-indolyl bêta-D glucuronate – Méthode de routine
	ISO 7251 (1)	Méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement d' <i>E. coli</i> présumés – Technique du nombre le plus probable
	ISO/TS 16.649-3	Méthode horizontale pour le dénombrement des <i>E. coli</i> bêta-glucuronidase positive - Partie 3: Technique du nombre le plus probable utilisant le bromo-4-chloro-3-indolyl bêta-D glucuronate
	AFNOR 3M-01/8-06/01 (2)	Pétrifilm select <i>E. coli</i>
	AFNOR BIO-12/5-01/99 (2)	Gélose COLI – ID (44°C)
	AFNOR BIO-12/19-12/06 (2)	Gélose COLI – ID (37°C)
	AFNOR BIO-12/13-02/05 (2)	TEMPO EC
	AFNOR BRD-07/1-07/93 (2)	Rapid <i>E. coli</i> 2 (44°C)
	AFNOR BRD-07/7-12/04 (2)	Rapid <i>E. coli</i> 2 (37°C)

Légende du tableau VII

(1) Méthode acceptée jusqu'au 31/12/2007.

(2) Méthode alternative validée selon l'ISO 16.140.

Le tableau VII reprend les méthodes reconnues pour le dénombrement des principales flores indicatrices.

Les méthodes d'analyse traditionnelles des bactéries pathogènes sont le plus souvent des méthodes de recherche visant à détecter la présence de la bactérie. Les différentes étapes en sont généralement un pré-enrichissement peu sélectif, suivi d'un enrichissement dans un milieu de culture liquide permettant la croissance optimale du microorganisme-cible, un isolement sur un milieu de culture gélinifié contenant des facteurs inhibant la croissance d'autres microorganismes, et une confirmation au moyen de tests biochimiques, immunologiques ou génétiques.

Les bactéries indicatrices ou index sont le plus souvent dénombrées en utilisant un milieu gélinifié permettant la croissance des bactéries-cibles, sélectionnées par rapport à leurs caractéristiques biochimiques. Dans certains cas, des tests de confirmation sont ensuite réalisés.

Il existe actuellement une norme internationale pour la recherche de *Salmonella* (ISO 6579), *Campylobacter* (ISO 10.272), *Yersinia enterocolitica* (ISO 10.273), *E. coli* O157 (ISO 16.654), et le dénombrement d'*E. coli* (ISO 16.649), des germes aérobies totaux (ISO 4833), des entérobactéries (ISO 21.528), et de *Pseudomonas* (ISO 13.720) (Organisation internationale de normalisation, 1995 ; 2001b ; 2001a ; 2002 ; 2003b ; 2003a ; 2004 ; 2006). L'Union européenne, par l'intermédiaire de son règlement (CE) n°2073/2005 préconise ces méthodes comme méthodes de référence pour les opérateurs du secteur agro-alimentaire (Commission européenne, 2005b). Cependant, les auteurs des études réalisées sur des carcasses et viandes de bovins, porcins et volaille utilisent le plus souvent des méthodes publiées dans des études scientifiques ou par l'autorité en charge de la sécurité alimentaire, telle que la « *Food Safety and Inspection* » correspondant au service d'inspection du département de l'agriculture des USA ou la *Health Protection Agency* au Royaume-Uni (Sofos *et al.*, 1999 ; Rho *et al.*, 2001 ; Eblen *et al.*, 2005 ; Yeh *et al.*, 2005).

Les tableaux III et IV spécifient les méthodes utilisées dans quelques études publiées. Aux USA, en Australie, Corée et à Taiwan, ces méthodes consistent généralement en l'utilisation de Pétrifilm (3M) pour le dénombrement des germes aérobies totaux, *E. coli*, entérobactéries et coliformes (Sofos *et al.*, 1999 ; Bacon *et al.*, 2000 ; Ingham et Schmidt, 2000 ; Sumner *et al.*, 2003 ; Arthur *et al.*, 2004 ; Cason *et al.*, 2004 ; Eblen *et al.*, 2005 ; Smith *et al.*, 2005 ; Yeh *et al.*, 2005). Pour la recherche de *Salmonella*, le pré-enrichissement en eau peptonée tamponnée est suivi d'un enrichissement en milieux tétrathionate et Rappaport-Vassiliadis (Rho *et al.*, 2001 ; Eblen *et al.*, 2005) et constitue une méthode proche de l'ISO 6579. L'isolement direct sur Campy-Cefex agar est souvent utilisé pour la détection de *Campylobacter* (Cason *et al.*, 2004 ; Smith *et al.*, 2005). En Europe, le dénombrement des germes aérobies totaux, entérobactéries et *Pseudomonas* est souvent réalisé en utilisant les milieux traditionnels que sont, respectivement, le *plate count agar* (PCA), le *violet red bile agar* (VRBA) et une gélose de base pour *Pseudomonas* supplémentée avec de la céphaloridine, fucidine, et du cétrimide (CFC), mais leur incubation a lieu à des températures variables (25°C, 30°C ou 37°C) pour le PCA. Des méthodes variables sont utilisées pour le dénombrement d'*E. coli* dans ces études (Mead *et al.*, 1993 ; Hansson, 2001 ; Murray *et al.*, 2001 ; Berrang *et al.*, 2002 ; McEvoy *et al.*, 2004 ; Byrne *et al.*, 2005 ; Miraglia *et al.*, 2005 ; Pearce et Bolton, 2005 ; Hutchison *et al.*, 2006). Pour la recherche de *Salmonella*, la méthode ISO 6579, une méthode simplifiée dérivée de celle-ci, ou une méthode basée sur la détection des *Salmonella* mobiles en milieu semi-solide (milieu diasalm ou MSRV) sont utilisées (Uyttendaele *et al.*, 1998 ; Uyttendaele *et al.*, 1999 ; Bonardi *et al.*, 2003 ; Botteldoorn *et al.*, 2003). La recherche de *Campylobacter* est réalisée par une méthode traditionnelle dérivée de la norme ISO 10.272 (Uyttendaele *et al.*, 1999 ; Elson *et al.*, 2004).

Pour être interprétable, la détection ou le dénombrement de ces différents microorganismes doit être réalisée dans un cadre bien défini qui varie en fonction de l'objectif recherché.

3.4. Réglementation des programmes de contrôle et de surveillance

Entamée en janvier 2000, la révision de la législation communautaire sur l'hygiène des denrées alimentaires a donné lieu au « paquet hygiène » dans le but de mettre en place une politique globale et intégrée s'appliquant à toutes les denrées alimentaires de la ferme jusqu'au point de vente au consommateur. Il est composé de cinq actes (les règlements (CE) n°852/2004, 853/2004, 854/2004 et 882/2004, et la directive 2002/99/CE) ayant pour thèmes l'hygiène des denrées alimentaires (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004a), les règles spécifiques d'hygiène des denrées alimentaires d'origine animale (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004b), les contrôles officiels des produits d'origine animale destinés à la consommation humaine (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004c), les contrôles officiels des aliments pour animaux et des denrées alimentaires (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004d), et les règles de police sanitaire régissant la production, la mise sur le marché et l'importation des produits d'origine animale destinés à la consommation humaine (Conseil de l'Union européenne, 2002). Dans ce cadre, le règlement (CE) n°852/2004 met l'accent sur la définition des objectifs à atteindre en matière de sécurité alimentaire, laissant aux exploitants du secteur alimentaire la responsabilité d'adopter les mesures de sécurité à mettre en œuvre afin de garantir l'innocuité des aliments (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004a). Le règlement (CE) n°178/2002 précise également qu'aucune denrée alimentaire ne peut être mise sur le marché si elle est dangereuse et les exploitants du secteur alimentaire sont tenus de retirer du marché les denrées alimentaires constituant un danger pour la santé publique (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2002).

Pour contribuer à la protection de la santé publique et éviter les interprétations différentes, des critères microbiologiques sont repris dans la réglementation. Il s'agit de critères définissant l'acceptabilité d'un produit, d'un lot de denrées alimentaires

ou d'un procédé, sur la base de l'absence, de la présence ou du nombre de micro-organismes, et/ou de la quantité de leurs toxines/métabolites, par unité(s) de masse, volume, surface ou lot (Commission européenne, 2005b). Des critères de sécurité harmonisés relatifs à l'acceptabilité des denrées alimentaires, et en particulier en ce qui concerne la présence de certains micro-organismes pathogènes ont été définis au niveau communautaire dans le règlement (CE) n°2073/2005 (Commission européenne, 2005b). Il s'agit, d'une part, les critères de sécurité des denrées alimentaires définissant l'acceptabilité de denrées alimentaires mis sur le marché, et d'autre part de critères d'hygiène du procédé indiquant l'acceptabilité du procédé de production, mais non applicables aux produits mis sur le marché. Le dépassement des critères de sécurité exige le retrait ou rappel des denrées alimentaires (en cas de dépassement des limites de *Listeria monocytogenes* ou *Salmonella* dans certains aliments), et des mesures correctives destinées à rétablir l'hygiène du procédé. Seule la dernière mesure doit être mise en œuvre quand le second type de critères n'est pas respecté, à savoir en cas de dépassement des limites en germes aérobies totaux, entérobactéries, *Salmonella* sur certaines carcasses et en germes aérobies totaux ou *E. coli* dans la viande hachée et préparations de viandes (Commission européenne, 2005b).

Dans le but de s'assurer de la conformité avec la législation sur les aliments pour animaux et les denrées alimentaires et avec les dispositions relatives à la santé animale et au bien-être des animaux, les états-membres doivent également mettre en place des plans de contrôle pluriannuels depuis le 1^{er} janvier 2007, conformément au règlement (CE) n°882/2004 (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2004d).

Ces textes réglementaires sont appliqués et, si nécessaires, transposés dans la législation belge. Les études de référence et contrôles prescrits sont intégrés dans le programme de surveillance annuel qui couvre l'ensemble de la chaîne alimentaire. La méthodologie de détermination du programme de contrôles officiels est basée sur une évaluation du risque, des outils statistiques et la connaissance scientifique (Maudoux *et al.*, 2006).

La Commission européenne et les USA ont également mis en place des programmes de surveillance de leurs filières de production de viande pour réduire la prévalence d'agents pathogènes dans les denrées alimentaires d'origine animale, avec pour objectif la réduction de l'incidence des infections d'origine alimentaire chez l'homme.

Les USA ont mis en place en 1996 un programme de surveillance en quatre volets : (i) la mise en place d'un plan HACCP (*Hasard Analysis Critical Control Points*) par chaque établissement vis-à-vis des dangers pouvant raisonnablement se produire dans leurs produits, (ii) le dénombrement obligatoire d'*E. coli* dans les abattoirs dans le but de vérifier l'efficacité des plans de prévention et de réduction de la contamination fécale, (iii) la réduction de la prévalence de *Salmonella* dans les abattoirs et ateliers de production de viande hachée de bœuf, de telle sorte que la contamination soit inférieure à la prévalence moyenne nationale, (iv) la rédaction et l'application de procédures de nettoyage et de désinfection. Ce programme était détaillé dans la réglementation et imposé aux établissements. Son implémentation a nécessité des changements fondamentaux aux établissements, au FSIS et à leurs relations. Le FSIS a apporté un support aux établissements (United States Department of Agriculture, 1996 ; Sofos *et al.*, 1999).

Au niveau international, la norme ISO 22.000 harmonise les pratiques de management de la sécurité des aliments. Elle couvre l'ensemble des activités constituant la chaîne alimentaire avec pour objectif de la sécurité des aliments à tous les niveaux, et ce en reprenant 5 éléments essentiels : l'approche systémique, la communication interactive, la traçabilité, les programmes préalables et le plan HACCP (Organisation internationale de normalisation, 2005).

En Europe, un règlement et une directive sont complétés par des textes spécifiques visant à lutter contre les agents zoonotiques, dont en particulier *Salmonella* et *Campylobacter*. Il s'agit, d'une part, du règlement (CE) n°2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne

alimentaire qui vise la mise en place de mesures adaptées et efficaces pour détecter et contrôler les agents zoonotiques à tous les stades pertinents de la production, de la transformation et de la distribution, en particulier au niveau de la production. Il a pour objectif la réduction de la prévalence de ces microorganismes et des risques qu'ils représentent pour la santé publique. Ce règlement donne des objectifs à atteindre en termes de prévalence de *Salmonella* pour les cheptels de volailles de reproduction, les poules pondeuses, les poulets de chair, les dindes, les porcs d'élevage et d'abattage (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2003b). D'autre part, d'autres agents zoonotiques doivent être surveillés, selon la Directive 2003/99/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur la surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques. Il s'agit de *Salmonella*, *Campylobacter*, *Echinococcus*, *Listeria*, *Brucella*, *Trichinella*, *Mycobacterium bovis* et des *E. coli* entérohémorragiques. D'autres agents tels que *Yersinia* sont à surveiller en fonction de la situation épidémiologique (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2003a). Plus particulièrement, une surveillance de *Salmonella*, *C. jejuni* et *E. coli* doit être réalisée chez les bovins, porcins et volailles ainsi que leurs viandes. Ces filières doivent faire l'objet de programmes de contrôle nationaux des agents zoonotiques pour lesquels des objectifs communautaires sont fixés. En ce qui concerne *Salmonella*, les objectifs sont à atteindre pour 2010 au plus tard.

Pour déterminer ces objectifs, des études de référence sont réalisées et déterminent la prévalence de certains sérotypes de *Salmonella* et de *Campylobacter*. La première étude a été réalisée dans les cheptels de poules pondeuses entre octobre 2004 et septembre 2005. Elle a montré que 30,8 % des exploitations de l'Union européenne étaient contaminées par *Salmonella*, avec une variation entre 0 % et 79,5 % (Community Reference Laboratory on the Epidemiology of Zoonoses, 2005 ; European Food Safety Authority, 2007a). En 2005-2006, 23,7 % des troupeaux de poulets de chair étaient positifs à *Salmonella*, avec une variation entre 0 % et 68,2 % des élevages nationaux (Commission européenne, 2005a ; European Food Safety Authority, 2007b). Des études

sont également prévues pour déterminer la prévalence de *Salmonella* chez les porcs de boucherie au niveau de l'abattoir, conformément à la décision 2005/636/CE (Commission européenne, 2006a), les carcasses de poulets de chair, ainsi que la prévalence et le niveau de contamination par *Campylobacter* dans les troupeaux et carcasses de poulets de chair (Commission européenne, 2007). Ces programmes nationaux et coordonnés de surveillance sont soutenus financièrement par la Commission et doivent faire l'objet d'un rapportage (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2003b). Ils peuvent être réalisés par l'autorité compétente ou sous sa supervision. En Belgique, elles le sont par l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire.

Les moyens de lutte par l'utilisation de vaccins ou d'antimicrobiens sont autorisés dans certains cas, comme le prévoient les règlements (CE) n°1091/2005 et 1177/2006 (Commission européenne, 2005d ; 2006c).

Des objectifs communautaires de réduction de la prévalence de certains sérotypes de *Salmonella* ont été fixés pour les cheptels de volailles reproductrices et les poules pondeuses. Pour les premiers, le pourcentage maximal de cheptels positifs de plus de 250 animaux adultes doit être de 1 % au 31/12/2009. Un pourcentage annuel minimal de réduction doit être atteint en 2008 pour les poules pondeuses, comme le prévoient les règlements (CE) n°1003/2005 et 1168/2006 (Commission européenne, 2005c ; 2006b).

La surveillance de la résistance aux antimicrobiens est associée à cette surveillance des zoonoses et agents zoonotiques ; l'étude épidémiologique de foyers de toxi-infections alimentaires et les échanges d'informations concernant ces zoonoses doivent également être réalisés selon la directive 2003/99/CE (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2003a). Chaque année, un rapport des tendances des agents zoonotiques est publié par l'EFSA. Il s'agit d'une compilation et d'une interprétation des données collectées dans les états-membres au niveau de l'homme, des aliments, des animaux et aliments pour animaux (European Food Safety Authority, 2006).

4. CONCLUSIONS

Trois types de surveillance permettent de vérifier l'efficacité des mesures prises dans le but de diminuer les zoonoses. La première est le suivi de l'hygiène et d'indicateurs par le dénombrement des flores indicatrices. La deuxième est la surveillance d'index pour certains pathogènes tels que *Salmonella* et *Campylobacter*. La troisième est la recherche ou le dénombrement direct des flores pathogènes. Les objectifs recherchés déterminent le type de surveillance à réaliser, les 3 types de suivis devant être réalisés pour un même établissement.

Au stade de l'établissement, dans le cadre de l'autocontrôle, la vérification des plans HACCP est réalisée notamment par la recherche de microorganismes indicateurs d'hygiène et d'agents pathogènes. D'autre part, les états membres doivent mettre en place des plans nationaux de surveillance pluriannuels. Ces plans doivent prévoir l'analyse de flores pathogènes, ainsi que de flores indicatrices permettant l'interprétation de leur présence éventuelle. Dans les denrées alimentaires d'origine animale, il s'agit souvent de *Salmonella* et *Campylobacter*, les deux principaux agents pathogènes responsables de toxi-infections alimentaires d'origine bactérienne, ainsi que des germes aérobies totaux, entérobactéries ou *E. coli* comme indicateurs de l'hygiène et des bonnes pratiques lors des processus de transformation, ou d'*E. coli* comme index des principaux agents pathogènes non sporulés d'origine digestive.

Outre le choix des microorganismes, il faut veiller à différents éléments lors de la réalisation du programme de surveillance, éléments qui doivent être définis et, dans la mesure du possible, standardisés, en fonction de l'objectif poursuivi :

- la représentativité de l'échantillon dans la population ;
- la méthode d'échantillonnage ;
- la méthode d'analyse ;
- l'exploitation des résultats ;
- l'interprétation des résultats.

SUMMARY

Foodborne disease have an important impact on the public health. In Europe and in the USA, *Salmonella* and *Campylobacter* are the two main bacterial causes because of their presence in the intestinal tract of poultry, pig and beef. For the monitoring of the bacterial contamination of food, the enumeration of certain groups or species of bacteria of intestinal origin is an alternative to the detection of the pathogenic microorganisms. They can be used as index indicating the possible presence of pathogenic agents having a similar ecology, or as indicators announcing the non-observance of the good practices. The most used are the total plate counts, *E. coli* and the Enterobacteriaceae. During meat production, they are counted at the level of environment, along the food chain, on carcasses at the slaughterhouse, on carcasses and in meat, in plants and distribution. Various surveys are carried out by the producers of food and the authorities for the control of the auto-control, the national inspection plans or to determine the national baseline.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAK G.K., LONG S.M., O'BRIEN S.J. Trends in indigenous food-borne disease and deaths, England and Wales: 1992 to 2000. *Gut*, 2002, **51**, 832-841.
- ADAK G.K., MEAKINS S.M., YIP H., LOPMAN B.A., O'BRIEN S.J. Disease risks from foods, England and Wales, 1996-2000. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, **11**, 365-372.
- ARTHUR T.M., BOSILEVAC J.M., NOU X., SHACKELFORD S.D., WHEELER T.L., KENT M.P., JARONI D., PAULING B., ALLEN D.M., KOOHMARAIE M. *Escherichia coli* O157 prevalence and enumeration of aerobic bacteria, *Enterobacteriaceae*, and *Escherichia coli* O157 at various steps in commercial beef processing plants. *J. Food Prot.*, 2004, **67**, 658-665.
- BACON R.T., BELK K.E., SOFOS J.N., CLAYTON R.P., REAGAN J.O., SMITH G.C. Microbial populations on animal hides and beef carcasses at different stages of slaughter in plants employing multiple-sequential interventions for decontamination. *J. Food Prot.*, 2000, **63**, 1080-1086.
- BARRIOS P.R., REIERSEN J., LOWMAN R., BISAILLON J.R., MICHEL P., FRIDRIKSDOTTIR V., GUNNARSSON E., STERN N., BERKE O., MCEWEN S., MARTIN W. Risk factors for *Campylobacter* spp. colonization in broiler flocks in Iceland. *Prev. Vet. Med.*, 2006, **74**, 264-278.
- BEERENS H. Bifidobacteria as indicators of faecal contamination in meat and meat products: detection, determination of origin and comparison with *Escherichia coli*. *Int. J. Food Microbiol.*, 1998, **40**, 203-207.
- BERRANG M.E., BUHR R.J., CASON J.A., DICKENS J.A. Microbiological consequences of skin removal prior to evisceration of broiler carcasses. *Poult. Sci.*, 2002, **81**, 134-138.
- BERRANG M.E., LADELY S.R., BUHR R.J. Presence and level of *Campylobacter*, coliforms, *Escherichia coli*, and total aerobic bacteria recovered from broiler parts with and without skin. *J. Food Prot.*, 2001, **64**, 184-188.
- BONARDI S., BRINDANI F., PIZZIN G., LUCIDI L., D'INCAU M., LIEBANA E., MORABITO S. Detection of *Salmonella* spp., *Yersinia enterocolitica* and verocytotoxin-producing *Escherichia coli* O157 in pigs at slaughter in Italy. *Int. J. Food Microbiol.*, 2003, **85**, 101-110.
- BOTTELDOORN N., HEYNDRIKX M., RIJPE N., GRIJSPEERDT K., HERMAN L. *Salmonella* on pig carcasses: positive pigs and cross contamination in the slaughterhouse. *J. Appl. Microbiol.*, 2003, **95**, 891-903.
- BRENNER D.J. Family I. *Enterobacteriaceae*. In: Krieg N.R., Holt G.H. (Eds.), *Bergey's manual of systematic bacteriology* (Volume 1). Williams and Wilkins: Baltimore, 1984, 408-420.
- BRIAND P. Avis de l'Agence française de Sécurité sanitaire des Aliments relatif à la demande de création de documents de référence concernant des flores microbiennes utilisables en tant qu'indicateur d'hygiène des procédés. Agence française de Sécurité sanitaire des Aliments (Afssa) : Paris, 2007, 9 p.
- BUTZLER J.P. *Campylobacter*, from obscurity to celebrity. *Clin. Microbiol. Infect.*, 2004, **10**, 868-876.
- BYRNE B., DUNNE G., LYG J., BOLTON D.J. Microbiological carcass sampling methods to achieve compliance with 2001/471/EC and new hygiene regulations. *Res. Microbiol.*, 2005, **156**, 104-106.
- CAPITA R., PRIETO M., ALONSO-CALLEJA C. Sampling methods for microbiological analysis of red meat and poultry carcasses. *J. Food Prot.*, 2004, **67**, 1303-1308.
- CASON J.A., BERRANG M.E., BUHR R.J., COX N.A. Effect of prechill fecal contamination on numbers of bacteria recovered from broiler chicken carcasses before and after immersion chilling. *J. Food Prot.*, 2004, **67**, 1829-1833.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION Multistate outbreak of *Salmonella typhimurium* infections associated with eating ground beef - United States, 2004. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, 2006a, **55**, 180-182.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION Preliminary FoodNet data on the incidence of foodborne illnesses with pathogens transmitted commonly through food - 10 states, United States, 2005. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, 2006b, **55**, 392-395.
- COMMISSION EUROPÉENNE Décision 2005/636/CE de la Commission du 1^{er} septembre 2005 concernant une participation financière de la Communauté à une étude de référence sur la prévalence de *Salmonella* spp. dans les troupeaux de poulets de chair *Gallus gallus* à réaliser dans les États membres. *J. Off. Commun. Eur.*, 2005a, **L228**, 14-18.
- COMMISSION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 2073/2005 de la Commission, du 15 novembre 2005, concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. *J. Off. Commun. Eur.*, 2005b, **L338**, 1-26.
- COMMISSION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 1003/2005 de la Commission du 30 juin 2005 portant application du règlement (CE) n° 2160/2003 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la fixation d'un objectif communautaire de réduction de la prévalence de certains sérotypes de salmonelles dans les cheptels reproducteurs de *Gallus gallus* et portant modification du règlement (CE) n° 2160/2003. *J. Off. Commun. Eur.*, 2005c, **L170**, 12-17.
- COMMISSION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 1091/2005 de la Commission du 12 juillet 2005 mettant en œuvre le règlement (CE) n° 2160/2003 en ce qui concerne les exigences communautaires relatives à l'utilisation de méthodes de contrôle spécifiques dans le cadre des program-

- mes nationaux de contrôle des salmonelles. *J. Off. Commun. Eur.*, 2005d, **L182**, 3-4.
- COMMISSION EUROPÉENNE
Décision 2006/668/CE de la Commission du 29 septembre 2006 concernant une participation financière de la Communauté à une étude de référence sur la prévalence de *Salmonella* chez les porcs de boucherie à réaliser dans les États membres. *J. Off. Commun. Eur.*, 2006a, **L275**, 51-61.
- COMMISSION EUROPÉENNE
Règlement (CE) n° 1168/2006 de la Commission du 31 juillet 2006 portant application du règlement (CE) n° 2160/2003 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la fixation d'un objectif communautaire de réduction de la prévalence de certains sérotypes de salmonelles chez les poules pondeuses *Gallus gallus* et portant modification du règlement (CE) n° 1003/2005. *J. Off. Commun. Eur.*, 2006b, **L211**, 4-8.
- COMMISSION EUROPÉENNE
Règlement (CE) n° 1177/2006 de la Commission du 1er août 2006 mettant en œuvre le règlement (CE) n° 2160/2003 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences relatives à l'utilisation de méthodes de contrôle spécifiques dans le cadre des programmes nationaux de contrôle des salmonelles chez les volailles. *J. Off. Commun. Eur.*, 2006c, **L212**, 3-5.
- COMMISSION EUROPÉENNE
Décision 2007/516/CE de la Commission du 19 juillet 2007 relative à une participation financière de la Communauté à une étude à réaliser dans les États membres portant sur la prévalence et la résistance antimicrobienne de *Campylobacter* spp. dans les troupeaux de poulets de chair ainsi que sur la prévalence de *Campylobacter* spp. et de *Salmonella* spp. dans les carcasses de poulets de chair. *J. Off. Commun. Eur.*, 2007, **L190**, 25-37.
- COMMUNITY REFERENCE LABORATORY ON THE EPIDEMIOLOGY OF ZOOSES Trends and sources of zoonotic agents in animals, feedingstuffs, food and man in the European Union and Norway in 2003. Bundesinstitut für Risikobewertung : Berlin, 2005, 236 p.
- CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Directive 2002/99/CE du Conseil, du 12 décembre 2002, fixant les règles de police sanitaire régissant la production, la transformation, la distribution et l'introduction des produits d'origine animale destinés à la consommation humaine. *J. Off. Commun. Eur.*, 2002, **L18**, 11-20.
- CORNELIUS A.J., NICOL C., HUDSON J.A. *Campylobacter* spp. in New Zealand raw sheep liver and human campylobacteriosis cases. *Int. J. Food Microbiol.*, 2005, **99**, 99-105.
- D'AOUST J.Y. *Salmonella*. In : Labbé R.G., García S. (Eds.), Guide to foodborne pathogens. John Wiley : New York, 2001, 163-191.
- DAVIES R.H., DALZIEL R., GIBBENS J.C., WILESMITH J.W., RYAN J.M.B., EVANS S.J., BYRNE C., PAIBA G.A., PASCOE S.J.S., TEALE C.J. National survey for *Salmonella* in pigs, cattle and sheep at slaughter in Great Britain (1999-2000). *J. Appl. Microbiol.*, 2004, **9**, 750-760.
- DE BOER E., BEUMER R.R. Methodology for detection and typing of foodborne microorganisms. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **50**, 119-130.
- DE BUCK J., VAN IMMERSEEL F., HAESBROUCK F., DUCATTE R. Colonization of the chicken reproductive tract and egg contamination by *Salmonella*. *J. Appl. Microbiol.*, 2004, **97**, 233-245.
- DE WIT M.A., KOOPMANS M.P., KORTBEEK L.M., VAN LEEUWEN N.J., BARTELD A.I., VAN DUYNHOVEN Y.T. Gastroenteritis in sentinel general practices, The Netherlands. *Emerg. Infect. Dis.*, 2001a, **7**, 82-91.
- DE WIT M.A., KOOPMANS M.P., KORTBEEK L.M., WANNET W.J., VINJE J., VAN LEUSDEN F., BARTELD A.I., VAN DUYNHOVEN Y.T. Sensor, a population-based cohort study on gastroenteritis in the Netherlands: incidence and etiology. *Am. J. Epidemiol.*, 2001b, **154**, 666-674.
- DE ZUTTER L., ABRAMS R., VAN HOOF J. Bacteriological survey of beef carcasses: correlation between swab and maceration method. *Arch. Lebensmittelhyg.*, 1982, **33**, 33-56.
- DELCENSERIE V., CHINA B., GAVINI F., BEERENS H., DAUBE G. Proposition pour un nouveau standard indicateur de la contamination d'origine fécale dans les aliments : le genre *Bifidobacterium*. *Ann. Med. Vét.*, 2002, **146**, 279-293.
- DORSA W.J., CUTTER C.N., SIRAGUSA G.R. Evaluation of six sampling methods for recovery of bacteria from beef carcass surfaces. *Lett. Appl. Microbiol.*, 1996, **22**, 39-41.
- DUCOFFRE G. Surveillance des maladies infectieuses par un réseau de laboratoires de microbiologie 2005 : tendances épidémiologiques 1983-2004. [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://www.iph.fgov.be/epidemi/epifr/plabfr/plabanfr/index05.htm>, consulté le 23/01/07.
- DUFFY E.A., BELK K.E., SOFOS J.N., BELLINGER G.R., PAPE A., SMITH G.C. Extent of microbial contamination in United States pork retail products. *J. Food Prot.*, 2001, **64**, 172-178.
- EBLEN D.R., LEVINE P., ROSE B.E., SAINI P., MAGEAU R., HILL W.E. Nationwide microbiological baseline data collected by sponge sampling during 1997 and 1998 for cattle, swine, turkeys, and geese. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 1848-1852.
- ELSON R., BURGESS F., LITTLE C.L., MITCHELL R.T. Microbiological examination of ready-to-eat cold sliced meats and pâté from catering and retail premises in the UK. *J. Appl. Microbiol.*, 2004, **96**, 499-509.
- ESLAVA C., VILLASECA J., HERNANDEZ U., CRAVIOTO A. *Escherichia coli*. In : Miliotis M.D., Bier J.W. (Ed.), International handbook of foodborne pathogens. Marcel Dekker : New York, 2003, 123-135.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY The community summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents, antimicrobial resistance

- and foodborne outbreaks in the European Union in 2005. *EFSA J.*, 2006, **94**, 1-236.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY Report of the Task Force on Zoonoses Data Collection on the analysis of the baseline study on the prevalence of *Salmonella* in holdings of laying flocks of *Gallus gallus*. *EFSA J.*, 2007a, **97**, 1-85.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY Report of the Task Force on Zoonoses Data Collection on the analysis of the baseline survey on the prevalence of *Salmonella* in broiler flocks of *Gallus gallus*, Part A. *EFSA J.*, 2007b, **98**, 1-85.
- EUZÉBY J.P. Dictionnaire de bactériologie vétérinaire. [en ligne] (juin 2007) Adresse URL : <http://www.bacterio.cict.fr/bacdicto/>, consulté le 15/08/2007.
- FEGAN N., VANDERLINDE P., HIGGS G., DESMARCHELIER P. A study of the prevalence and enumeration of *Salmonella enterica* in cattle and on carcasses during processing. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 1147-1153.
- FENG P. *Escherichia coli*. In : Labbé R.G., García S. (Eds.), Guide to foodborne pathogens. John Wiley and Sons : New York, 2001, 143-162.
- FERNÁNDES H., PISÓN V. Isolation of thermotolerant species of *Campylobacter* from commercial chicken livers. *Int. J. Food Microbiol.*, 1996, **29**, 75-80.
- FLINT J.A., VAN DUYNHOVEN Y.T., ANGULO F.J., DELONG S.M., BRAUN P., KIRK M., SCALLAN E., FITZGERALD M., ADAK G.K., SOCKETT P., ELLISA., HALL G., GARGOURI N., WALKE H., BRAAM P. Estimating the burden of acute gastroenteritis, foodborne disease, and pathogens commonly transmitted by food: an international review. *Clin. Infect. Dis.*, 2005, **41**, 698-704.
- GHAFFIR Y., DAUBE G., 1999. Guide belge en microbiologie des aliments pour les laboratoires accrédités. In : Proceedings of the fourth conference in food microbiology, 16-17/6/1999, Liège. University of Liege : Liège, 92-104.
- GILL C.O., JONES T. Microbiological sampling of carcasses by excision or swabbing. *J. Food Prot.*, 2000, **63**, 167-173.
- HALD B., VOSE D., WEGENER H.C., KOUPEEV T. A bayesian approach to quantify the contribution of animal-food sources to human salmonellosis. *Risk. Anal.*, 2004, **24**, 255-269.
- HALL G., KIRK M.D., BECKER N., GREGORY J.E., UNICOMB L., MILLARD G., STAFFORD R., LALOR K., THE OZFOODNET WORKING GROUP. Estimating foodborne gastroenteritis, Australia. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, **11**, 1257-1264.
- HANES D. Nontyphoid *Salmonella*. In : Miliotis M.D., Bier J.W. (Ed.), International handbook of foodborne pathogens. Marcel Dekker : New York, 2003, 137-149.
- HANSSON I.B. Microbiological meat quality in high- and low-capacity slaughterhouses in Sweden. *J. Food Prot.*, 2001, **64**, 820-825.
- HELMS M., VASTRUP P., GERNER-SMIDT P., MOLBAK K. Short and long term mortality associated with foodborne bacterial gastrointestinal infections : registry based study. *BMJ*, 2003, **326**, 357.
- HERMAN L., HEYNDRIKX M., GRIJSPEERDT K., VANDEKERCHOVE D., ROLLIER I., DE ZUTTER L. Routes for *Campylobacter* contamination of poultry meat: epidemiological study from hatchery to slaughterhouse. *Epidemiol. Infect.*, 2003, **131**, 1169-1180.
- HEYNDRIKX M., VANDEKERCHOVE D., HERMAN L., ROLLIER I., GRIJSPEERDT K., DE ZUTTER L. Routes for *Salmonella* contamination of poultry meat: epidemiological study from hatchery to slaughterhouse. *Epidemiol. Infect.*, 2002, **129**, 253-265.
- HOFSHAGEN M., KRUSE H. Reduction in flock prevalence of *Campylobacter* spp. in broilers in Norway after implementation of an action plan. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 2220-2223.
- HU L., KOPECKO D.J. *Campylobacter* Species. In: Miliotis M.D., Bier J.W. (Ed.) International Handbook of Foodborne Pathogens. Marcel Dekker: New York, 2003, 181-198.
- HUMPHREY T.J., MARTIN K.W., SLADER J., DURHAM K. *Campylobacter* spp. in the kitchen: spread and persistence. *J. Appl. Microbiol.*, 2001, 115S-120S.
- HUTCHISON M.L., WALTERS L.D., AVERY S.M., REID C.A., WILSON D., HOWELL M., JOHNSTON A.M., BUNCIC S. A comparison of wet-dry swabbing and excision sampling methods for microbiological testing of bovine, porcine, and ovine carcasses at red meat slaughterhouses. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 2155-2162.
- HUTCHISON M.L., WALTERS L.D., MEAD G.C., HOWELL M., ALLEN V.M. An assessment of sampling methods and microbiological hygiene indicators for process verification in poultry slaughterhouses. *J. Food Prot.*, 2006, **69**, 145-153.
- INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS Microorganisms in foods : 5. characteristics of microbial pathogens. Aspen Publishers : London, 1996, 513 pp.
- INGHAM S.C., SCHMIDT D.J. Alternative indicator bacteria analyses for evaluating the sanitary condition of beef carcasses. *J. Food Prot.*, 2000, **63**, 51-55.
- INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE. Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France. [en ligne] (10/05/04) Adresse URL : http://www.invs.sante.fr/publications/2004/inf_origine_alimentaire/inf_origine_alimentaire.pdf, consulté le 23/01/07.
- JORGENSEN F., BAILEY R., WILLIAMS S., HENDERSON P., WAREING D.R., BOLTON F.J., FROST J.A., WARD L., HUMPHREY T.J. Prevalence and numbers of *Salmonella* and *Campylobacter* spp. on raw, whole chickens in relation to sampling methods. *Int. J. Food Microbiol.*, 2002, **76**, 151-164.
- JOZWIAK A., REICHAERT O., LACZAY P. The occurrence of *Campylobacter* species in Hungarian broiler chickens from

- farm to slaughter. *J. Vet. Med. B Infect. Dis. Vet. Public Health*, 2006, **53**, 291-294.
- KORSAK N., DAUBE G., GHAFIR Y., CHAHED A., JOLLY S., VINDEVOGEL H. An efficient sampling technique used to detect four foodborne pathogens on pork and beef carcasses in nine Belgian abattoirs. *J. Food Prot.*, 1998, **61**, 535-541.
- KORSAK N., JACOB B., GROVEN B., ETIENNE G., CHINA B., GHAFIR Y., DAUBE G. *Salmonella* contamination of pigs and pork in an integrated pig production system. *J. Food Prot.*, 2003, **66**, 1126-1133.
- KOTULA K.L., DAVIS M.E. Broiler skin sampling for optimum recovery of *Salmonella* spp. *J. Food Prot.*, 1999, **62**, 284-286.
- KRAMER J.M., FROST J.A., BOLTON F.J., WAREING D.R. *Campylobacter* contamination of raw meat and poultry at retail sale: identification of multiple types and comparison with isolates from human infection. *J. Food Prot.*, 2000, **63**, 1654-1659.
- KRAUSS H., WEBER A., APPEL M., ENDERS B., ISENBERG H.D., SCHIEFER H.G., SLENCZKA W., VON GRAEVENITZ A., ZAHNER H. Zoonoses: infectious diseases transmissible from animals to humans. ASM Press : Washington, 2003, 456 p.
- LABADIE J.C., DOUSSET X., HEBRAUD M. Les *Pseudomonas* et autres bactéries Gram - d'altération. In : Bourgeois C.M., Mescle J.F., Zucca J. (Eds.), Microbiologie alimentaire. Tome 1 : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Technique et Documentation: Paris, 1996, 209-220.
- LE MINOR L. Genus III. *Salmonella*. In : Krieg N.R., Holt G.H. (Eds.), Bergey's manual of systematic bacteriology (Volume 1). Williams and Wilkins : Baltimore, 1984, 427-458.
- LINDBLAD M., HANSSON I., VAGSHOLM I., LINDQVIST R. Postchill *Campylobacter* prevalence on broiler carcasses in relation to slaughter group colonization level and chilling system. *J. Food Prot.*, 2006, **69**, 495-499.
- MAJOWICZ S.E., DORE K., FLINT J.A., EDGE V.L., READ S., BUFFETT M.C., MCEWEN S., MCNAB W.B., STACEY D., SOCKETT P., WILSON J.B. Magnitude and distribution of acute, self-reported gastrointestinal illness in a Canadian community. *Epidemiol. Infect.*, 2004, **132**, 607-617.
- MAUDOUX J.P., SAEGERMAN C., RETTIGNER C., HOUINS G., VAN HUFFEL X., BERKVENS D. Food safety surveillance through a risk based control programme: approach employed by the Belgian Federal Agency for the Safety of the Food Chain. *Vet. Q.*, 2006, **28**, 140-154.
- MAZICK A., ETHELBERG S., NIELSEN E.M., MOLBAK K., LISBY M. An outbreak of *Campylobacter jejuni* associated with consumption of chicken, Copenhagen, 2005. *Euro Surveill.*, 2006, **11**, 137-139.
- MCEVOY J.M., SHERIDAN J.J., BLAIR I.S., MCDOWELL D.A. Microbial contamination on beef in relation to hygiene assessment based on criteria used in EU Decision 2001/471/EC. *Int. J. Food Microbiol.*, 2004, **92**, 217-225.
- MEAD G.C., HUDSON W.R., HINTON M.H. Microbiological survey of five poultry processing plants in the UK. *Br. Poult. Sci.*, 1993, **34**, 497-503.
- MEAD P.S., SLUTSKER L., DIETZ V., MCCAIG L.F., BRESEE J.S., SHAPIRO C., GRIFFIN P.M., TAUXE R.V. Food-related illness and death in the United States. *Emerg. Infect. Dis.*, 1999, **5**, 607-625.
- MELDRUM R.J., SMITH R.M., WILSON I.G. Three-year surveillance program examining the prevalence of *Campylobacter* and *Salmonella* in whole retail raw chicken. *J. Food Prot.*, 2006, **69**, 928-931.
- MELDRUM R.J., TUCKER I.D., SMITH R.M., EDWARDS C. Survey of *Salmonella* and *Campylobacter* contamination of whole, raw poultry on retail sale in Wales in 2003. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 1447-1449.
- MIRAGLIA D., RANUCCI D., D'OVIDIO V., BRANCIARI R., SEVERINI M. Comparison between carcass microbial load recovered by swabbing surfaces of different size and using the reference excision method. *Vet. Res. Commun.*, 2005, **29 Suppl 2**, 339-341.
- MURRAY K.A., GILMOUR A., MADDEN R.H. Microbiological quality of chilled beef carcasses in Northern Ireland: a baseline survey. *J. Food Prot.*, 2001, **64**, 498-502.
- NATIONAL REFERENCE CENTRE FOR *SALMONELLA* AND *SHIGELLA* Annual report on human *Salmonella* and *Shigella* in Belgium 2005. Scientific Institute of Public Health : Brussels, 2006, 48 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 13720 : viande et produits à base de viande : dénombrement des *Pseudomonas* spp. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 1995, 12 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 16649-1 : microbiologie des aliments : méthode horizontale pour le dénombrement des *Escherichia coli* bêta-glucuronidase positive - Partie 1 : technique de comptage des colonies à 44°C au moyen de membranes et de 5-bromo-4-chloro-3-indolyl bêta-D glucuronate. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2001a, 16 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 16654 : microbiologie des aliments : méthode horizontale pour la recherche des *Escherichia coli* O157. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2001b, 26 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 6579 : microbiologie des aliments : méthode horizontale pour la recherche des *Salmonella* spp. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2002, 40 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 4833 : microbiologie des aliments : méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes.

- nismes : technique de comptage des colonies à 30°C. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2003a, 18 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 10273 : microbiologie des aliments : méthode horizontale pour la recherche de *Yersinia enterocolitica* présumées pathogènes. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2003b, 44 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 16140 : microbiologie des aliments : protocole pour la validation des méthodes alternatives. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2003c, 85 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 17604 : microbiologie des aliments : prélèvement d'échantillons sur des carcasses en vue de leur analyse microbiologique. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2003d, 15 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 21528-2 : microbiologie des aliments : méthodes horizontales pour la recherche et le dénombrement des *Enterobacteriaceae* - Partie 2 : méthode par comptage des colonies. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2004, 19 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION ISO 22000 : systèmes de management de la sécurité des denrées alimentaires : exigences pour tout organisme appartenant à la chaîne alimentaire. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2005, 35 p.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. ISO 10272-1 : microbiologie des aliments : méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement des *Campylobacter* spp - Partie 1: méthode de recherche. Organisation internationale de Normalisation : Genève, 2006, 28 p.
- PADUNGTO P., HANSON R., WILSON D.L., BELL J., LINZ J.E., KANEENE J.B. Identification of *Campylobacter jejuni* isolates from cloacal and carcass swabs of chickens in Thailand by a 5' nuclease fluorogenic polymerase chain reaction assay. *J. Food Prot.*, 2002, **65**, 1712-1716.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 178/2002 du Parlement européen et du Conseil, du 28 janvier 2002, établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires. *J. Off. Commun. Eur.*, 2002, **L31**, 1-24.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Directive 2003/99/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur la surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques, modifiant la décision 90/424/CEE du Conseil et abrogeant la directive 92/117 du Conseil. *J. Off. Commun. Eur.*, 2003a, **L325**, 31-40.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire. *J. Off. Commun. Eur.*, 2003b, **L325**, 1-15.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 852/2004 du Parlement européen et du Conseil, du 29 avril 2004, relatif à l'hygiène des denrées alimentaires. *J. Off. Commun. Eur.*, 2004a, **L139**, 1-54.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 853/2004 du Parlement européen et du Conseil, du 29 avril 2004, fixant les règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale. *J. Off. Commun. Eur.*, 2004b, **L139**, 55-205.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 854/2004 du Parlement européen et du Conseil, du 29 avril 2004, fixant les règles spécifiques d'organisation des contrôles officiels concernant les produits d'origine animale destinés à la consommation humaine. *J. Off. Commun. Eur.*, 2004c, **L139**, 206-320.
- PARLEMENT EUROPÉEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE Règlement (CE) n° 882/2004 du Parlement européen et du Conseil, du 29 avril 2004, relatif aux contrôles officiels effectués pour s'assurer de la conformité avec la législation sur les aliments pour animaux et les denrées alimentaires et avec les dispositions relatives à la santé animale et au bien-être des animaux. *J. Off. Commun. Eur.*, 2004d, **L165**, 1-141.
- PARRY S.M., PALMER S.R., SLADER J., HUMPHREY T. Risk factors for *Salmonella* food poisoning in the domestic kitchen : a case control study. *Epidemiol. Infect.*, 2002, **129**, 277-285.
- PATON J.C., PATON A.W. Pathogenesis and diagnosis of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infections. *Clin. Microbiol. Rev.*, 1998, **11**, 450-479.
- PEARCE R.A., BOLTON D.J. Excision vs sponge swabbing : a comparison of methods for the microbiological sampling of beef, pork and lamb carcasses. *J. Appl. Microbiol.*, 2005, **98**, 896-900.
- PHILLIPS D., SUMNER J., ALEXANDER J.F., DUTTON K.M. Microbiological quality of Australian beef. *J. Food Prot.*, 2001, **64**, 692-696.
- RASSCHAERT G., HOUF K., DE ZUTTER L. External contamination of *Campylobacter*-free flocks after transport in cleaned and disinfected containers. *J. Food Prot.*, 2007, **70**, 40-46.
- RASSCHAERT G., HOUF K., VAN HENDE J., DE ZUTTER L. *Campylobacter* contamination during poultry slaughter in Belgium. *J. Food Prot.*, 2006, **69**, 27-33.
- RAY B. Indicators of bacterial pathogens. In : Ray B. (Ed.),

- Fundamental food microbiology. CRC Press : Boca Raton, 2001, 409-417.
- RHO M.J., CHUNG M.S., LEE J.H., PARK J. Monitoring of microbial hazards at farms, slaughterhouses, and processing lines of swine in Korea. *J. Food Prot.*, 2001, **64**, 1388-1391.
- ROBIN-BROWNE R.M., HARTLAND E.L. *Yersinia* species. In : Miliotis M.D., Bier J.W. (Ed.), International handbook of foodborne pathogens. Marcel Dekker : New York, 2003, 323-355.
- SCALLAN E., FITZGERALD M., COLLINS C., CROWLEY D., DALY L., DEVINE M., IGOE D., QUIGLEY T., ROBINSON T., SMYTH B. Acute gastroenteritis in northern Ireland and the Republic of Ireland : a telephone survey. *Commun. Dis. Public Health*, 2004, **7**, 61-67.
- SCANGA J.A., GRONA A.D., BELK K.E., SOFOS J.N., BELLINGER G.R., SMITH G.C. Microbiological contamination of raw beef trimmings and ground beef. *Meat Sci.*, 2000, **56**, 145-152.
- SCHERER K., BARTELT E., SOMMERFELD C., HILDEBRANDT G. Comparison of different sampling techniques and enumeration methods for the isolation and quantification of *Campylobacter* spp. in raw retail chicken legs. *Int. J. Food Microbiol.*, 2006, **108**, 115-119.
- SMIBERT R.M. Genus *Campylobacter*. In: Krieg N.R., Holt G.H. (Eds.), Bergey's manual of systematic bacteriology (Volume 1). Williams and Wilkins: Baltimore, 1984, 111-118.
- SMITH D.P., CASON J.A., BERRANG M.E. Effect of fecal contamination and cross-contamination on numbers of coliform, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, and *Salmonella* on immersion-chilled broiler carcasses. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 1340-1345.
- SOFOS J.N., KOICHEVAR S.L., BELLINGER G.R., BUEGE D.R., HANCOCK D.D., INGHAM S.C., MORGAN J.B., REAGAN J.O., SMITH G.C. Sources and extent of microbiological contamination of beef carcasses in seven United States slaughtering plants. *J. Food Prot.*, 1999, **62**, 140-145.
- SUMNER J., PETRENAS E., DEAN P., DOWSETT P., WEST G., WIERING R., RAVEN G. Microbial contamination on beef and sheep carcasses in South Australia. *Int. J. Food Microbiol.*, 2003, **81**, 255-260.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE Food safety and inspection service, U.S. Pathogen reduction: hazard analysis and critical control point (HACCP) systems, final rule. *Fed. Regist.*, 1996, **61**, 38805-38989.
- UYTTENDAELE M., DE TROY P., DEBEVERE J. Incidence of *Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, and *Listeria monocytogenes* in poultry carcasses and different types of poultry products for sale on the Belgian retail market. *J. Food Prot.*, 1999, **62**, 735-740.
- UYTTENDAELE M.R., DEBEVERE J.M., LIPS R.M., NEYTS K.D. Prevalence of *Salmonella* in poultry carcasses and their products in Belgium. *Int. J. Food Microbiol.*, 1998, **40**, 1-8.
- VAN DUYNHOVEN Y.T.H.P., DE JAGER C.M., KORTBEEK L.M., VENNEMA H., KOOPMANS M.P.G., VAN LEUSDEN F., VAN DER POEL W.H.M., VAN DEN BROEK J.M. A one-year intensified study of outbreaks of gastroenteritis in The Netherlands. *Epidemiol. Infect.*, 2004, **1**, 1-13.
- VAN NIEROP W., DUSE A.G., MARAIS E., AITHMA N., THOTHOBOLO N., KASSEL M., STEWART R., POTGIETER A., FERNANDES B., GALPIN J.S., BLOOMFIELD S.F. Contamination of chicken carcasses in Gauteng, South Africa, by *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* and *Campylobacter*. *Int. J. Food Microbiol.*, 2005, **99**, 1-6.
- VAN OVERBEKE I., DUCHATEAU L., DE ZUTTER L., ALBERS G., DUCATELLE R. A comparison survey of organic and conventional broiler chickens for infectious agents affecting health and food safety. *Avian Dis.*, 2006, **50**, 196-200.
- VANDERLINDE P., JENSON I., SUMNER J. Using national microbiological data to set meaningful performance criteria for slaughter and dressing of animals at Australian export abattoirs. *Int. J. Food Microbiol.*, 2005, **104**, 155-159.
- VANDERLINDE P.B., SHAY B., MURRAY J. Microbiological quality of Australian beef carcass meat and frozen bulk packed beef. *J. Food Prot.*, 1998, **61**, 437-443.
- VELLINGA A., VAN LOOCK F. The dioxin crisis as experiment to determine poultry-related *Campylobacter* enteritis. *Emerg. Infect. Dis.*, 2002, **8**, 19-22.
- VERBELEN V., BODEUS M., GARRINO M.G., SCIPIONI A., KABAMBA B., DAUBE G., THIRY E., GOUBAU P. Hospital outbreak of gastroenteritis due to Norovirus in Belgium. *Acta Clin. Belg.*, 2004, **59**, 30-33.
- WARE L.M., KAIN M.L., SOFOS J.N., BELK K.E., SMITH G.C. Comparison of sponging and excising as sampling procedures for microbiological analysis of fresh beef-carcass tissue. *J. Food Prot.*, 1999, **62**, 1255-1259.
- WHYTE P., MCGILL K., COWLEY D., MADDEN R.H., MORAN L., SCATES P., CARROLL C., O'LEARY A., FANNING S., COLLINS J.D., MCNAMARA E., MOORE J.E., CORMICAN M. Occurrence of *Campylobacter* in retail foods in Ireland. *Int. J. Food Microbiol.*, 2004, **95**, 111-118.
- YEH K.S., CHEN S.P., LIN J.H. One-year (2003) nationwide pork carcass microbiological baseline data survey in Taiwan. *J. Food Prot.*, 2005, **68**, 458-461.
- YU S.L., COOKE P.H., TU S.I. Effects of chilling on sampling of bacteria attached to swine carcasses. *Lett. Appl. Microbiol.*, 2001, **32**, 205-210.
- ZHAO C., GE B., DE VILLENA J., SUDLER R., YEH E., ZHAO S., WHITE D.G., WAGNER D., MENG J. Prevalence of *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, and *Salmonella* serovars in retail chicken, turkey, pork, and beef from the Greater Washington, D.C. area. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2001, **67**, 5431-5436.