

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 10 décembre 2010

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif aux contaminations microbiologiques des viandes à l'abattoir

RAPPEL DE LA SAISINE

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) s'est auto-saisie le 14 octobre 2008 sur la thématique des contaminations microbiologiques des carcasses à l'abattoir, en instituant la création d'un groupe de travail « contaminations microbiologiques des viandes à l'abattoir ».

CONTEXTE ET QUESTIONS POSEES

Ce groupe de travail était chargé de faire un état de l'art sur la contamination superficielle des carcasses, d'acquérir des connaissances sur les facteurs influençant la bactériémie et les conséquences sur la qualité sanitaire des viandes et de proposer une classification des niveaux de risques pour les dangers microbiologiques liés à la contamination de la viande en abattoir.

Le 8 juin 2009, des questions ont été adressées par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) à l'Afssa, portant notamment sur :

- les critères pour évaluer les procédures de réduction des contaminations de surface dans le cadre de la validation des plans de maîtrise sanitaire,
- les risques associés aux accidents d'éviscération (Quel sur-risque pour les carcasses contaminées (bovins) ?), et l'efficacité du douchage,
- l'intérêt des recherches microbiologiques à cœur.

En novembre 2009, le groupe de travail étant arrivé au terme de sa mandature, un recentrage des travaux du groupe de travail sur les questions spécifiques posées par la DGAL a été décidé. Ce recentrage a été officialisé par la décision n°2010/01/16 du 27 janvier 2010.

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments a donc articulé ce rapport en conséquence selon les questions suivantes :

Les contaminations superficielles des viandes

- Modélisation de l'impact de la dépouille et de l'éviscération sur la qualité microbiologique des carcasses – cas des *Escherichia coli* STEC sur les carcasses de bovins
- Evaluation des procédés de traitement des contaminations de surface des carcasses sur la réduction de la contamination microbienne
- Evolution de la contamination microbienne de surface des carcasses
- Eviscération retardée

Les contaminations profondes des viandes

- Entérite congestive
- Réalisation de recherches microbiologiques à cœur « cubes de viande »

METHODE D'EXPERTISE

L'expertise collective a été réalisée par le groupe de travail « contaminations microbiologique des viandes à l'abattoir » dont les conclusions ont été adoptées par le Comité d'experts spécialisé (CES) « Microbiologie » réuni le 14 septembre 2010.

Une audition des représentants de la DGAL a été réalisée le 10 juin 2009, et celle d'un représentant de l'Institut du Porc (IFIP) a été réalisée le 14 septembre 2009 par le groupe de travail.

ARGUMENTAIRE

L'expertise collective a été réalisée par le groupe de travail « contaminations microbiologique des viandes à l'abattoir » dont les conclusions ont été adoptées par le Comité d'experts spécialisé (CES) « Microbiologie ».

L'argumentaire de l'Agence nationale de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail est fondé sur l'avis du Comité d'experts spécialisé « Microbiologie » dont les éléments sont présentés ci-dessous.

Sommaire

1	Contaminations superficielles des viandes.....	5
1.1	Modélisation de l'impact de la dépouille et de l'éviscération sur la qualité microbiologique des carcasses – cas des <i>Escherichia coli</i> STEC sur les carcasses de bovins.....	5
1.1.1	Contexte et questions posées	5
1.1.2	Présentation de la démarche de modélisation	5
1.1.3	Discussions sur les différentes entrées du modèle	6
1.1.4	Discussion des paramètres utilisés pour les différentes étapes d'abattage	10
1.1.5	Résultats	16
1.1.6	Conclusion.....	16
1.2	Evaluation des modes de réduction des contaminations en surface des carcasses	18
1.2.1	Contexte et questions posées	18
1.2.2	Éléments de réponse	18
1.2.3	Conclusion.....	26
1.3	Evolution de la contamination de surface des carcasses	27
1.3.1	Contexte et questions posées	27
1.3.2	Méthodologie.....	27
1.3.3	Résultats obtenus.....	30
1.3.4	Conclusion.....	33
1.4	Eviscération retardée.....	34
1.4.1	Questions posées.....	34
1.4.2	Éléments de réponse	34
1.4.3	Conclusion.....	35
2	Contaminations profondes des viandes	37
2.1	Entérite congestive	37
2.1.1	Contexte et questions posées	37

2.1.2	Eléments de réponse	37
2.2	Réalisation de recherches microbiologiques à cœur « cubes de viande »	40
2.2.1	Questions posées.....	40
2.2.2	Eléments de réponse	40
2.2.3	Conclusion.....	45
Annexe 1 : description des traitements assainissants		47
Annexe 2 : données complémentaires relatives à la translocation bactérienne		51
Références bibliographiques		54

Liste des Figures

Figure 1. Distributions des concentrations dans les matières fécales (C_f) de bovins contaminés par <i>E. coli</i> O157 selon (Wells et al., 2009) ▲, (Arthur et al., 2009) ◀, (Matthews et al., 2006) ▶, (Stephens et al., 2009) *, (Zhao et al., 1995) ● et (Omisakin et al., 2003) ■. (--) Distribution Normale ajustée, (--) intervalle de confiance à 95% de l'ajustement.	8
Figure 2. Illustration de la dépendance entre P_f et P_{cu}	9
Figure 3. Distributions des concentrations sur le cuir des (C_{cu}) de bovins contaminés par <i>E. coli</i> O157 selon (O'Brien et al., 2005) ▲, (Wells et al., 2009) ◀, (Arthur et al., 2009) *, (Arthur et al., 2004) ● et (Brichta-Harhay et al., 2007) ■. (--) Distribution Normale ajustée, (--) intervalle de confiance à 95% de l'ajustement.	10
Figure 4. Réduction du niveau de contamination lors du passage du cuir à la carcasse pour <i>E. coli</i> . (●) Données rapportées par (Cummins et al., 2008) (–) distribution BetaPERT retenue.....	12
Figure 5 : Représentation schématique du modèle de simulation	15
Figure 6. Présentation schématique de la démarche utilisée	27
Figure 7. Distribution cumulative des résultats d'autocontrôles de deux entreprises pour la flore aérobie.....	30
Figure 8. (a) Température simulée à la surface des carcasses de porcs. (b) croissance estimée des Enterobacteriaceae (—) et de la flore totale (—).	31
Figure 9. (a) Température utilisée pour apprécier la croissance à la surface des carcasses de bovins. (b) croissance estimée des Enterobacteriaceae (—) et de la flore totale (—).	32
Figure 10 : Représentation schématique de l'influence du stress sur la perméabilité de la barrière digestive (in (Soderholm and Perdue, 2001)).....	42
Figure 11 : Schématisation des différents scénarios pathogéniques.....	44

Liste des Illustrations

Illustration 1 : Aspects macroscopiques externes de la masse intestinale et du mésentère : à droite : aspect normal ; à gauche : aspect anormal (couleur anormalement rosée à rouge).....	38
Illustration 2 : Aspects macroscopiques internes de l'intestin après ouverture : en haut : aspect normal de la muqueuse, en bas aspect congestionné de la muqueuse	38
Illustration 3 : Principe de la cabine SPS, basé sur l'aspersion des carcasses par de la vapeur	47
Illustration 4 : Différents éléments du vapo vac	48
Illustration 5 : Détails de la tête de nettoyage	49
Illustration 6 : Vue d'ensemble d'une cabine de douchage des carcasses.....	49
Illustration 7 : Exemple de disposition des buses à l'intérieur d'une cabine de douchage	50

Liste des Tableaux

Tableau 1. Synthèse des études sur la prévalence d' <i>E. coli</i> O157 dans les matières fécales des bovins dans les pays européens. D'après (Blanco et al., 2003; Boqvist et al., 2009; Duffy et al., 2006; Heuvelink et al., 1998a; Heuvelink et al., 1998b; McEvoy et al., 2003b; Nastasijevic et al., 2009; Rhoades et al., 2009; Sanchez et al., 2010).....	6
Tableau 2. Synthèse des études sur la prévalence d' <i>E. coli</i> O157 sur le cuir des bovins dans les pays européens.....	9
Tableau 3. Paramètres et distributions utilisés pour la simulation de la contamination des carcasses.....	13
Tableau 4. Probabilité pour une carcasse de dépasser un niveau de contamination en <i>E. coli</i> O157 donné.....	16
Tableau 5. Temps maximum toléré (minutes) d'arrêt de chaîne d'abattage.....	32

1 Contaminations superficielles des viandes

1.1 Modélisation de l'impact de la dépouille et de l'éviscération sur la qualité microbiologique des carcasses – cas des *Escherichia coli* STEC sur les carcasses de bovins

1.1.1 Contexte et questions posées

Les infections causées par les *Escherichia coli* producteurs de Shiga-toxines (STEC) constituent un problème majeur en santé publique en raison de la sévérité des manifestations cliniques qu'ils génèrent (note de gravité¹ : 3^{ème} rang au sein de 8 dangers bactériens (Fosse et al., 2008)) en particulier les colites hémorragiques et le syndrome hémolytique et urémique (SHU). Les jeunes enfants et les personnes âgées sont les personnes les plus sensibles à ce danger (Afssa, 2008).

La viande de bœuf hachée insuffisamment cuite est un des aliments le plus souvent en cause dans la survenue de cas sporadiques ou épidémiques d'origine alimentaire (Erickson and Doyle, 2007; Greig and Ravel, 2009; Rangel et al., 2005). Les STEC et en particulier les *E. coli* O157 peuvent être présents dans le système digestif ou sur le cuir des bovins et peuvent contaminer les carcasses au cours du procédé d'abattage. Le niveau de risque est directement relié à l'étendue et la nature de cette contamination mais aussi aux différentes étapes qui peuvent influencer cette contamination pendant le procédé d'abattage.

La DGAL souhaite connaître le sur-risque associé aux carcasses qui ont connu un accident d'éviscération.

1.1.2 Présentation de la démarche de modélisation

1.1.2.1 Justification de l'approche quantitative

De nombreux groupes nationaux et internationaux ont appliqué des techniques quantitatives d'évaluation des risques pour modéliser le risque posé par *E. coli* O157 dans la viande bovine, en particulier dans la viande hachée (Duffy et al., 2006).

Il existe actuellement différents modèles qui prennent en compte l'étape d'abattage (Cassin et al., 1998), (Lammerding et al., 1999), (Ebel et al., 2004), (Nauta et al., 2001), (Cummins et al., 2008), (Signorini and Tarabla, 2009) (Kosmider et al., 2010). Pour chacun de ces modèles, des distributions de probabilités sont utilisées pour décrire la variabilité et/ou l'incertitude qui caractérisent les entrées du modèle. La ou les sorties des modèles sont obtenues par simulation de Monte-Carlo et sont également des distributions de probabilité.

Parmi tous ces modèles, seuls les trois plus récents prennent en compte deux origines de contamination, c'est-à-dire une contamination des carcasses lors de la dépouille par les matières fécales présentes sur le cuir des bovins et/ou une autre lors de la phase d'éviscération s'il y a rupture des viscères.

1.1.2.2 Modèle et hypothèses

Le modèle utilisé dans notre démarche suppose que le cuir et le contenu digestif de bovins sont les vecteurs de contamination des carcasses pendant la dépouille et l'éviscération.

Les concentrations variées d'*E. coli* O157 sur les carcasses contaminées pendant les différentes opérations de préparation des carcasses ont été estimées sur la base de publications scientifiques. Les dires d'experts ont également été utilisés pour l'appréciation de certains paramètres.

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour le développement du modèle :

¹ La note de gravité estime ici une gravité « globale » de l'effet néfaste du danger, combinant les taux moyens calculés de mortalité et d'hospitalisation

La probabilité pour un bovin d'être contaminé sur la chaîne d'abattage, est indépendante de celle des autres bovins ;

Il est présumé que les prévalences sur le cuir et dans les matières fécales ne sont pas indépendantes ;

Le modèle suppose une distribution homogène d'*E. coli* O157 dans les matières fécales ou sur le cuir.

Il est considéré que tout accident d'éviscération conduit à un parage de la zone (avec une efficacité variable).

1.1.3 Discussions sur les différentes entrées du modèle

1.1.3.1 Prévalence dans les matières fécales

(Rhoades et al., 2009) ont récemment publié une synthèse des prévalences de différents pathogènes en différents points de la filière bovine au long de la chaîne de fabrication des viandes bovines. Ils ont recensé plus de 40 publications d'intérêt (grands nombre d'échantillons, informations suffisantes pour l'interprétation des données, etc.) pour le portage fécal des bovins des *E. coli* STEC. Les données de cette synthèse concernant les bovins adultes, dans les pays européens, sont présentées et complétées par d'autres travaux (cf. Tableau 1).

Tableau 1. Synthèse des études sur la prévalence d'*E. coli* O157 dans les matières fécales des bovins dans les pays européens. D'après (Blanco et al., 2003; Boqvist et al., 2009; Duffy et al., 2006; Heuvelink et al., 1998a; Heuvelink et al., 1998b; McEvoy et al., 2003b; Nastasijevic et al., 2009; Rhoades et al., 2009; Sanchez et al., 2010).

Pays	Lieu	Période	Type d'animaux	N	Pourcentage
Espagne	19 élevages	1993-1994	Vaches laitières	525	0
Espagne	abattoir	1998-1999	Bovins	383	1,8
Pays-Bas	10 fermes	1995-1996	Vaches laitières	1152	6,5
Pays-Bas	5 abattoirs	1995-1996	Bovins adultes	540	10,6
Slovénie	abattoir	1996-1997	Bovins adultes	250	0,8
Danemark	60 élevages	Aout à octobre 1997	Vaches	957	2,4
République Tchèque	1 élevage	Octobre 1997 à Septembre 1998	Jeunes Bovins	48	6,2
Italie	1 élevage	Avril 1996 à mars 1997	Génisses (laitières)	1293	10,7
Norvège	3 abattoirs	Janvier 1998 à décembre 1999	Bovins adultes	1541	0,2
Italie	1 abattoir	Avril 1997 à janvier 1998	Bovins à l'engraissement	223	16,6
			Vaches laitières de réformes	137	16,1
Suisse	120 élevages	2002 et 2003	Vaches laitières	892	4,6
Irlande	1 Abattoir	Juin 1998 à mai 1999	Bovins adultes	250	2,4
Ecosse	952 élevages	1998-2000	Bovins à l'engraissement	14856	7,9
Grande-Bretagne	118 abattoirs	Janvier 1999 à février 2000	Bovins	3939	4,7
Grande-	1 abattoir	Avril 1995 à mars	Bovins	4800	15,7

Bretagne		1996			
Grande-Bretagne	1 abattoir	Avril 1997 à mars 1998	Bovins	4800	12,9
Finlande	14 abattoirs	Juin à décembre 1997	Bovins	1448	1,3
Ecosse	1 abattoir	Mai à juillet 2002	Bovins	589	7,5
Irlande du Nord	7 abattoirs	Mai à juin	Bovins	220	0,9
Suède	15 abattoirs	2005-2006	Jeunes bovins	876	3,5
			Bovins adultes	750	1,6
Espagne	1 élevage	Mai à juin 2007	Bovins adultes	268	2,6
Serbie	3 abattoirs	Hiver-Printemps	Bovins adultes	115	2,6

Conclusion

Il est connu que de nombreux facteurs viennent influencer la prévalence d'*E. coli* O157 chez les bovins. Parmi les plus influents, on peut citer le mode d'élevage, l'âge ou encore la saison. Toutefois dans l'état actuel des connaissances, il est difficile de relier quantitativement ces facteurs à la prévalence individuelle du portage des bovins. Au niveau de la France, il n'existe pour l'instant pas ou peu de données permettant de caractériser la prévalence d'*E. coli* O157 dans les matières fécales des bovins arrivant à l'abattoir. Cependant les données rassemblées ci-dessus montrent des prévalences, dans les matières fécales, comprises entre 0 et 16 % au niveau européen. Une distribution uniforme (0, 16) caractérisant cette incertitude sera donc retenue pour la modélisation.

1.1.3.2 Concentration dans les matières fécales

La plupart des modèles existant prenant en compte la contamination lors d'accident d'éviscération, n'utilisent pas directement la concentration d'*E. coli* O157 dans les matières fécales (Cummins et al., 2008; Kosmider et al., 2010; Signorini and Tarabla, 2009). Ils imposent arbitrairement, en cas d'accident d'éviscération, un niveau de contamination similaire à celui causé par le cuir des animaux. Seuls Nauta et al. (2001) ont caractérisé la concentration dans les matières fécales en se basant uniquement sur l'étude de Zhao et al (1995). Depuis, plusieurs publications sur la distribution des niveaux de contamination dans les matières fécales sont venues compléter ces données. Elles sont représentées sur la Figure 1 (Matthews et al., 2006; Omisakin et al., 2003; Stephens et al., 2009; Wells et al., 2009; Zhao et al., 1995). Elles ne se limitent pas à l'Europe.

Ces données sont homogènes et montrent qu'entre 80 et 95% des bovins contaminés par *E. coli* O157 dans les matières fécales, ont des niveaux de concentration inférieurs à 10^4 ufc/g.

Une loi normale cumulative a été ajustée aux valeurs présentées sur la Figure 1. Les valeurs des paramètres ajustés (moyenne et écart type) et l'incertitude sur ces paramètres sont présentées dans le Tableau 3.

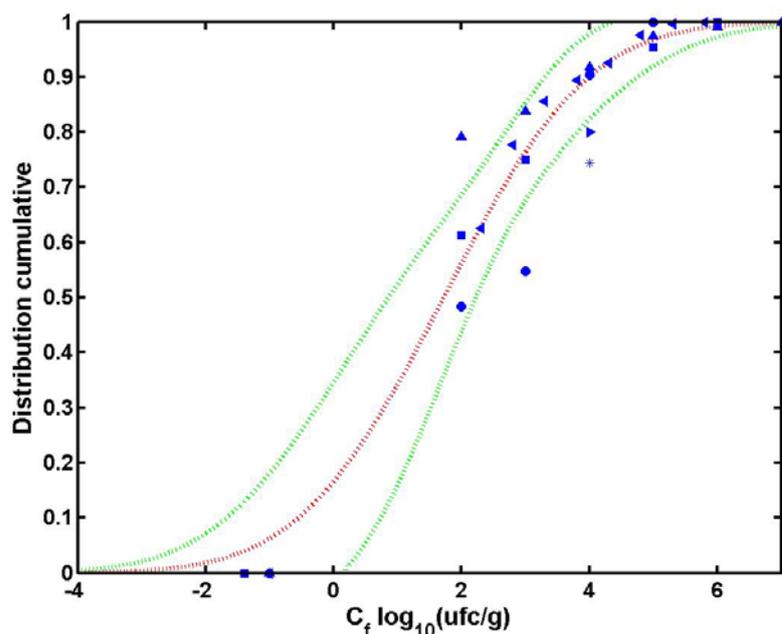


Figure 1. Distributions des concentrations dans les matières fécales (C_f) de bovins contaminés par *E. coli* O157 selon (Wells et al., 2009) ▲, (Arthur et al., 2009) ▼, (Matthews et al., 2006) ►, (Stephens et al., 2009) *, (Zhao et al., 1995) ● et (Omisakin et al., 2003) ■. (---) Distribution Normale ajustée, (---) intervalle de confiance à 95% de l'ajustement.

1.1.3.3 Prévalence sur le cuir

Les données de prévalence sur le cuir des animaux sont moins nombreuses que pour les matières fécales (cf. Tableau 2).

Pour la prévalence sur le cuir des animaux vivants, (O'Brien et al., 2005) ont recherché *E. coli* O157:H7 sur des cuirs (arrière train - « rump ») issus d'animaux abattus en Irlande. Sur 1500 cuirs surveillés, 109 étaient positifs. L'incertitude sur la prévalence sur le cuir (P_c) était caractérisée par la distribution Beta(109+1, 1500-109+1). (Cummins et al., 2008) n'utilisent pas directement cette prévalence, mais estiment la prévalence "vraie" (P_{cv}) en divisant la prévalence observée (P_c) par la sensibilité de la méthode utilisée (M_{se}).

(Reid et al., 2002) ont recherché *E. coli* O157 (prélèvement par application d'une éponge abrasive) sur le cuir de bovins abattus dans trois abattoirs de Grande-Bretagne (juillet à août) sur trois zones différentes : l'arrière train (« rump »), les flancs (« flank ») et la pointe de poitrine (« brisket »). Les prévalences observées (N=90) étaient respectivement les suivantes : 3,3, 4,4 et 22,2%.

En Ecosse, (Mather et al., 2008) ont suivi la contamination par *E. coli* O157 de 236 bovins de l'élevage (34 élevages concernés) à l'abattoir (11 abattoirs concernés). Plusieurs prélèvements étaient effectués sur les mêmes bovins : à la ferme (matières fécales) et à l'abattoir (pointe de poitrine, matières fécales et carcasses). Les souches étaient typées afin de pouvoir déterminer leur origine. Les auteurs ont montré que la prévalence sur les cuirs des bovins (55%) était plus élevée à l'abattoir que sur les animaux à la ferme. Dans près de 84% des cas, les souches retrouvées sur un animal à l'abattoir n'avaient pas été détectées précédemment sur l'animal ou sur d'autres bovins appartenant à la même ferme.

En Serbie, une étude récente a également montré que la prévalence sur le cuir était significativement affectée par la zone de prélèvement (Nastasijevic et al., 2008). La pointe de poitrine étant avec le métacarpe, la zone où la probabilité de détection de *E. coli* O157 était la plus importante.

Tableau 2. Synthèse des études sur la prévalence d'*E. coli* O157 sur le cuir des bovins dans les pays européens.

Pays	Lieu	Période	Zone de prélèvement	Surface	N	Pourcentage	Références
Grande-Bretagne	3 abattoirs	juillet à août	pointe de poitrine	100 cm ²	90	22	(Reid et al., 2002)
Ecosse	11 abattoirs	2002-2004	pointe de poitrine	?	236	55	(Mather et al., 2007; Mather et al., 2008)
Serbie	abattoir	-	?	200 cm ²	30	37	(Antic et al., 2010)
Irlande	abattoir	Octobre 2001 à mars 2003	Arrière train	122 cm ²	1500	7,3	(O'Brien et al., 2005)
Serbie	3 abattoirs	Janvier à avril 2007	Présence sur 1 ou + parmi 5 zones	100 cm ²	71	20,8	(Nastasijevic et al., 2008)

Conclusion

Ces études conduites en Europe, montrent que les prévalences sur les cuirs des animaux sont plus élevées que dans les matières fécales. Cette différence entre cuir et matières fécales est confirmée par de nombreuses autres études notamment en Amérique du Nord (Arthur et al., 2009; Rhoades et al., 2009; Stephens et al., 2009; Wells et al., 2009).

La prévalence maximale observée sur les cuirs est de 55%. Il est présumé que la prévalence minimale est de 0% en accord avec la valeur minimale retenue pour la prévalence dans les matières fécales. Une distribution uniforme (0, 0,55) a donc été choisie pour caractériser l'incertitude sur cette prévalence retenue dans la modélisation.

Comme évoqué dans les hypothèses de départ du modèle, il est présumé que la prévalence sur le cuir des animaux est dépendante de celle dans les matières fécales. Il a été établi une fonction de répartition multivariée (méthode des couples) de la dépendance entre P_f et P_{cu} . Une valeur de 0,9 a été choisie (valeur à dire d'expert) pour le coefficient de Kendall (ou de Spearman). La dépendance avec cette valeur entre P_f et P_{cu} est présentée sur la Figure 2.

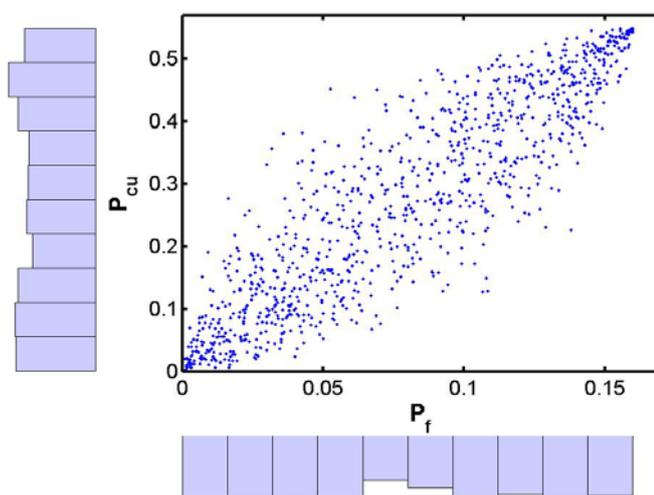


Figure 2. Illustration de la dépendance entre P_f et P_{cu}

1.1.3.4 Concentration sur le cuir

L'ensemble des données disponibles sur la distribution des niveaux de contamination (Arthur et al., 2004; Arthur et al., 2009; Brichta-Harhay et al., 2007; O'Brien et al., 2005; Wells et al., 2009) est présenté sur la Figure 3. Ces études montrent qu'entre 80 et 95% des animaux porteurs de *E. coli* O157 sur leur cuir ont des niveaux de contamination inférieurs à 100 ufc/cm².

Une loi normale cumulative a été ajustée aux valeurs présentées sur la Figure 3. Les valeurs des paramètres ajustés (moyenne et écart type) et l'incertitude sur ces paramètres sont présentées dans le Tableau 3.

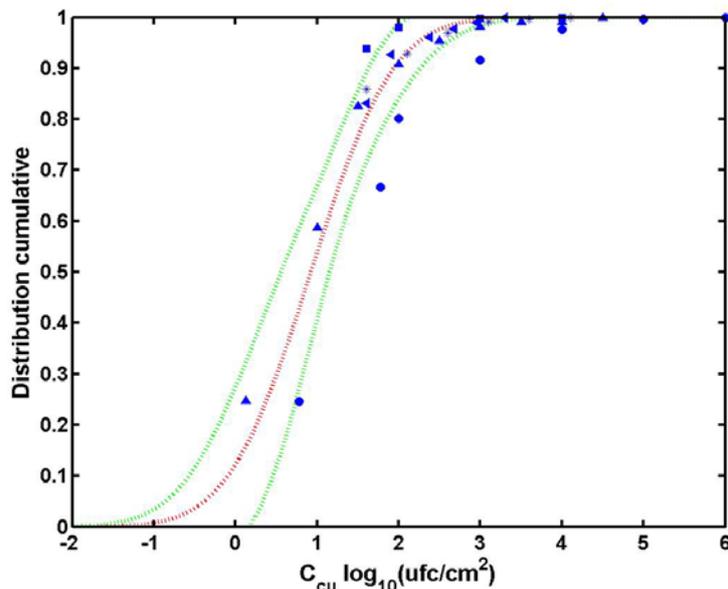


Figure 3. Distributions des concentrations sur le cuir des (C_{cu}) de bovins contaminés par *E. coli* O157 selon (O'Brien et al., 2005) ▲, (Wells et al., 2009) ▼, (Arthur et al., 2009) *, (Arthur et al., 2004) ● et (Brichta-Harhay et al., 2007) ■. (--) Distribution Normale ajustée, (---) intervalle de confiance à 95% de l'ajustement.

1.1.3.5 Prévalence dans le rumen

Les accidents d'éviscération ne concernent pas que les pollutions par la partie terminale du tube digestif (contamination par les matières fécales). Le contenu du rumen peut également être répandu sur la carcasse. Deux études caractérisent la prévalence dans le rumen au regard des prévalences fécales. En Irlande, (McEvoy et al., 2003b) ont observé une prévalence pour *E. coli* O157 de 0,8 % dans le rumen contre 2,4 % dans les matières fécales. On peut également noter l'étude de (Van Donkersgoed et al., 1999) : la prévalence dans le rumen était de 0,8 % contre 7,5 % dans les matières fécales.

Compte-tenu de ces prévalences faibles au regard des prévalences sur les autres sources et du nombre limité d'informations, il est décidé de ne pas prendre en compte la contamination éventuelle par le contenu du rumen pour le cas de la contamination par *E. coli*.

1.1.4 Discussion des paramètres utilisés pour les différentes étapes d'abattage

1.1.4.1 Probabilité de contamination de la carcasse pendant la dépouille

Les opérations de dépouille induisent inévitablement une contamination de la carcasse (contacts directs ou indirects, traçage puis ablation du cuir, etc.). Les zones de traçage du cuir sont les zones les plus fortement contaminées (Bell, 1997; McEvoy et al., 2003b).

Les précédents modèles d'appréciation des risques (Cassin et al., 1998; Ebel et al., 2004) proposaient un facteur, appelé « facteur de contamination croisée » qui permettait de faire le lien entre la prévalence de *E. coli* O17:H7 dans les matières fécales et la prévalence sur la carcasse. Pour ces auteurs, ce facteur, compris entre 2 et 3, permettait de tenir compte de façon indirecte et empirique, de la pré-

valence sur le cuir. L'ordre de grandeur proposé par (Cassin et al., 1998) se révèle cohérent au regard des prévalences présentées dans les tableaux 2 et 3.

Toutefois, étant donné que la principale source de contamination des carcasses est le cuir des bovins (Gill et al., 1998; McEvoy et al., 2003b), le modèle fourni développé par (Cummins et al., 2008) prend en compte de manière directe la prévalence cuir. Le facteur de contamination croisée (TR) estimé par ces auteurs relie directement la prévalence de carcasses contaminées à partir de celle observée sur le cuir de bovins ; le facteur de transfert de contaminations retenu par ces auteurs a été estimé à partir des données de surveillance irlandaises.

La prévalence sur les carcasses se calcule de la manière suivante (Cummins et al., 2008; Kosmider et al., 2010) :

$$P_{ca} = \frac{TR \times P_{cuir}}{1 - P_{cuir} + TR \times P_{cuir}}$$

Où TR suit une distribution statistique correspondant à un rapport de lois beta. Les valeurs de ce ratio diffèrent selon les études. (Cummins *et al.* 2008) retiennent le rapport suivant :

$$TR = \frac{\text{beta}(4; 32)}{\text{beta}(110; 1390)}$$

Pour Kosmider et al. (Kosmider et al., 2010) TR n'a pas le même ordre de grandeur. Le rapport de loi beta qu'ils ont retenu (noté TR_k) est calculé de la manière :

$$TR_k = \frac{\text{beta}(4; 220)}{\text{beta}(123; 101)}$$

Avec cette valeur, environ 1% des carcasses se retrouvent contaminées pour une prévalence sur les cuirs de 55%. Pour étayer cette valeur, les auteurs se réfèrent à l'article de (Small et al., 2002). Il est toutefois à noter que cet article ne traite pas des prévalences sur les carcasses mais uniquement des prévalences sur le cuir et les surfaces des locaux de stabulations.

Il est à remarquer que la gamme de valeurs de TR choisie par (Cummins et al., 2008) est compatible avec une prévalence sur les carcasses supérieure à celle des cuirs. D'autres études montrent que la prévalence est deux à trois fois plus faible sur les carcasses que sur les cuirs (Arthur et al., 2004; Brichta-Harhay et al., 2008). La valeur TR a été retenue dans ce document pour la modélisation.

1.1.4.2 Taux de transfert des contaminations du cuir vers la carcasse

(Cummins et al., 2008) utilisent les travaux de (Bacon et al., 2000) pour apprécier ce taux de transfert ; ces derniers ont évalué les niveaux des populations microbiennes sur des cuirs de bovins et sur les carcasses correspondantes à diverses étapes du processus d'abattage. Les cuirs présentaient des niveaux de concentration par *E. coli* compris entre 5.50 et 7.50 \log_{10} UFC/100 cm^2 alors que les carcasses dépouillées (mais non encore éviscérées) révélaient des contaminations se situant entre 2.60 et 5.30 \log_{10} UFC/100 cm^2 . De ces expériences, la diminution du nombre d'*E. coli* lors du passage des cuirs à la carcasse (R) a été déduite. Cette réduction est décrite par une loi BetaPERT de paramètres 0, 1.9, 4.5 (valeur minimale, la plus probable et maximale exprimée en $\log_{10}(\text{ufc})$) (Figure 4).

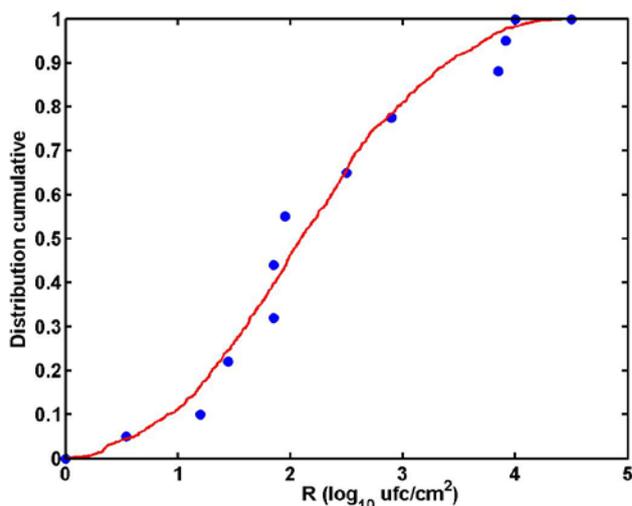


Figure 4. Réduction du niveau de contamination lors du passage du cuir à la carcasse pour *E. coli*. (●) Données rapportées par (Cummins et al., 2008) (-) distribution BetaPERT retenue.

1.1.4.3 Surface de la carcasse contaminée pendant l'habillage

Pour décrire la variabilité de la surface de contamination dans ce rapport, la modélisation choisie par (Ebel et al., 2004) a été utilisée : $S=10^{\text{Triang}(\log(30), \log(300), \log(3000))}$.

1.1.4.4 Eviscération

L'éviscération représente une autre étape critique en matière de contamination de la carcasse. Si l'appareil digestif d'un animal héberge *E. coli* O157:H7 et s'il est rompu par inadvertance durant le processus de l'éviscération, alors une contamination de la carcasse peut se produire en raison du déversement du contenu intestinal et/ou des matières fécales sur cette dernière.

On peut définir deux situations associées qui conduisent à la présence de matières fécales sur les carcasses, par suite de l'opération d'éviscération :

La première correspond à des accidents d'éviscération, ci-après nommés accidents « mineurs ». Cette situation correspond à la présence de matières fécales visibles en surface des carcasses, sur une zone circonscrite et de taille limitée. La fréquence de survenue de ce type de contaminations est estimée entre 1 et 3 % par les experts du groupe de travail (loi Uniforme (1,3)). Cette gamme de valeurs est cohérente au regard d'autres fréquences estimées dans d'autres pays européens ; ainsi, Nauta et al. ont estimé cette fréquence à 1% (Nauta et al., 2001), Cummins et al. (Cummins et al., 2008) entre 0,1 et 1% et Kosmider et al. (Kosmider et al., 2010) à 0,1%. La quantité de matières fécales, exprimée en gramme, associée à ce type de contamination a été modélisée par une distribution triangulaire Triang (0, 2, 10).

Le second événement conduisant à la présence de matières fécales sur les carcasses correspond à des accidents ci-après nommés « accidents majeurs ». Ce cas de figure correspond à la présence de matières fécales visibles sur une zone étendue et généralement diffuse. La fréquence de survenue de ces accidents est inférieure à celle des accidents « mineurs » estimée par les experts de ce groupe de travail, et estimée entre 0,2 et 0,5 % (loi Uniforme (0,2 ; 0,5)). La quantité de matières fécales, exprimée en gramme, associée à ce type de contaminations a été modélisée par une distribution triangulaire Triang (100, 1000, 5000).

1.1.4.5 Réduction de la contamination de la carcasse après éviscération

Après éviscération, la fente de la carcasse et l'enlèvement de la moelle épinière, un parage au couteau et/ou le recours à un traitement destiné à réduire la contamination des carcasses est généralement mis en œuvre pour retirer les contaminations fécales. Ces méthodes sont efficaces pour retirer les souillures visibles et les contaminations microbiologiques associées ; elles permettent une réduction de l'ordre de 1 log₁₀ (Gill, 2009; Gill and Landers, 2004). L'efficacité réelle du parage et des mé-

thodes alternatives au parage est discutée plus en détail dans la partie « Evaluation des modes de traitement des contaminations de surface des carcasses ».

La réduction de la contamination (D), exprimée en $\log_{10}(\text{ufc})$, a été modélisée par une distribution triangulaire Triang ($0, D_{\text{med}}, D_{\text{max}}$) avec l'incertitude quant à la valeur la plus probable [$D_{\text{med}} = \text{Uniforme}(0,3 ; 0,7)$] et l'incertitude quant à la réduction maximale [$D_{\text{max}} = \text{Uniforme}(0,8 ; 1,20)$]. Ces valeurs sont également celles utilisées par (Cummins et al., 2008).

1.1.4.6 Refroidissement

Il a été signalé que la réfrigération n'est pas susceptible d'avoir un effet notable sur la prévalence ou la concentration de *E. coli* (Cassin et al., 1998; McEvoy et al., 2003b). La contamination sur les carcasses peut augmenter, diminuer ou rester inchangée en fonction de l'humidité et d'autres paramètres comme la température, la vitesse relative de l'air (Gill and Bryant, 1997; Gill et al., 1996). Des paramètres comparables à ceux proposés par (Ebel et al., 2004) ont été retenus pour caractériser l'évolution bactérienne pendant le refroidissement (CR). Celle-ci, exprimée en $\log_{10}(\text{ufc})$, a donc été modélisée en utilisant une distribution normale avec une moyenne incertaine (CR_m) comprise entre -0,50 à 0,50 \log_{10} (loi Uniforme) et un écart-type de 1. Par conséquent, le refroidissement est probablement sans effet tout en admettant une certaine variabilité.

1.1.4.7 Synthèse des paramètres du modèle

Les caractéristiques des paramètres du modèle et les relations conduisant à l'appréciation de la quantité d'*E. coli* O157 à la surface des carcasses refroidies sont présentées dans le Tableau 3 et la Figure 5. La démarche de modélisation intègre l'incertitude et la variabilité. Ce tableau résume l'ensemble des paramètres décrits ci-dessus. L'incertitude sur la prévalence d'*E. coli* O157 dans les matières fécales et sur le cuir a été volontairement choisie comme large, compte-tenu du manque d'information en France existant au moment de la rédaction de ce rapport.

La variabilité et l'incertitude des paramètres d'entrée ont été intégrées dans la construction d'un modèle de second ordre par le moyen de distributions de probabilité. Leur séparation dans ce modèle nous permet de comprendre les mesures nécessaires pour réduire l'incertitude totale et nous permet de mesurer la valeur d'éventuelles d'informations complémentaires. L'approche de second ordre rend plus facile la communication des résultats aux gestionnaires, en fiabilisant le modèle et aide ainsi à identifier les besoins futurs en matière de collecte de données.

Le nombre d'itérations est de 1000 simulations pour l'incertitude et de 100 000 pour caractériser la variabilité (soit 100 000 000 itérations) (Figure 5).

Tableau 3. Paramètres et distributions utilisés pour la simulation de la contamination des carcasses.

Paramètre	Symbole	Distribution / modèle	Catégorie	Expression ou unité
Prévalence cuir	P_{cu}	Uniforme (0, 0,55)	Incertitude	Prévalence
Prévalence matières fécales	P_f	Uniforme (0, 0,16)	Incertitude	Prévalence
Ratio de transfert entre le cuir et les carcasses	TR	Beta(4,32)/Beta(110,1390)	Incertitude	Prévalence
Probabilité de contamination de la carcasse	P_{ca}	$TR \times P_{\text{cu}} / (1 - P_{\text{cu}} + TR \times P_{\text{cu}})$	Incertitude	Prévalence
Concentration <i>E. coli</i> O157 sur le cuir	C_c	Normale (m_{C_c}, d_{C_c})	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$
Moyenne de la concentration sur le cuir	m_{C_c}	Normale ($m_{m_{C_c}}, 0,9236, 0,0722$)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$
Ecart type de la concentration sur le cuir	d_{C_c}	Normale ($m_{d_{C_c}}, 0,7921, 0,0866$)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$

Facteur de réduction de la contamination	R	BetaPERT(0, 1,9, 4,5)	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$
Concentration introduite sur la carcasse à partir du cuir	C_{ca}	$C_c - R$	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$
Surface contaminée	S	$10^{\text{Triang}(\log(30), \log(300), \log(3000))}$	Variabilité	cm^2
Nombre d'E. coli O157 après retrait du cuir	N_c	$\log_{10}(10^{C_{ca}} \times S)$	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{carcasse})$
Efficacité maximale de la décontamination	D_{\max}	Uniforme (0,8, 1,2)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc})$
Efficacité la plus probable de la décontamination	D_{med}	Uniforme (0,3, 0,7)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc})$
Efficacité de la décontamination	D	Triang (0, D_{med} , D_{\max})	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc})$
Evolution moyenne pendant le refroidissement	CR_m	Uniforme (-0,5, 0,5)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc})$
Evolution pendant le refroidissement	CR	Normale (CR_m , 1)	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc})$
Concentration dans les matières fécales	C_f	Normale (m_{C_f} , d_{C_f})	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{g})$
Moyenne de la concentration dans les matières fécales	m_{C_f}	Normale ($m_{m_{C_f}}$, 1,723, 0.1644)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{g})$
Ecart type de la concentration dans les matières fécales	d_{C_c}	Normale ($m_{d_{C_f}}$, $d_{d_{C_f}}$ 1,7728, 0.209)	Incertitude	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{g})$
Fréquence des accidents « mineurs »	$F_{\text{acc}1}$	Uniforme (0,01, 0,03)	Incertitude	Prévalence
Fréquence des accidents « majeurs »	$F_{\text{acc}2}$	Uniforme (0,002, 0,005)	Incertitude	Prévalence
Quantité de matières fécales en cas d'accidents mineurs	$M_{\text{acc}1}$	Triang (0, 2, 10)	Variabilité	gramme
Quantité de matières fécales en cas d'accidents majeurs	$M_{\text{acc}2}$	Triang (100, 1000, 5000)	Variabilité	gramme
Quantité E. coli O157 sur la carcasse apportée en cas d'accidents mineurs	$N_{\text{acc}1}$	$\log_{10}(10^{C_f} \times M_{\text{acc}1})$	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{carcasse})$
Quantité E. coli O157 sur la carcasse apportée en cas d'accidents majeurs	$N_{\text{acc}2}$	$\log_{10}(10^{C_f} \times M_{\text{acc}2})$	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{carcasse})$
Quantité totale E. coli O157 sur la carcasse après refroidissement	N_{animal}	$\log_{10}((10^{N_c} + (10^{N_{\text{acc}2} - D})) - CR)$	Variabilité	$\log_{10}(\text{ufc}/\text{carcasse})$

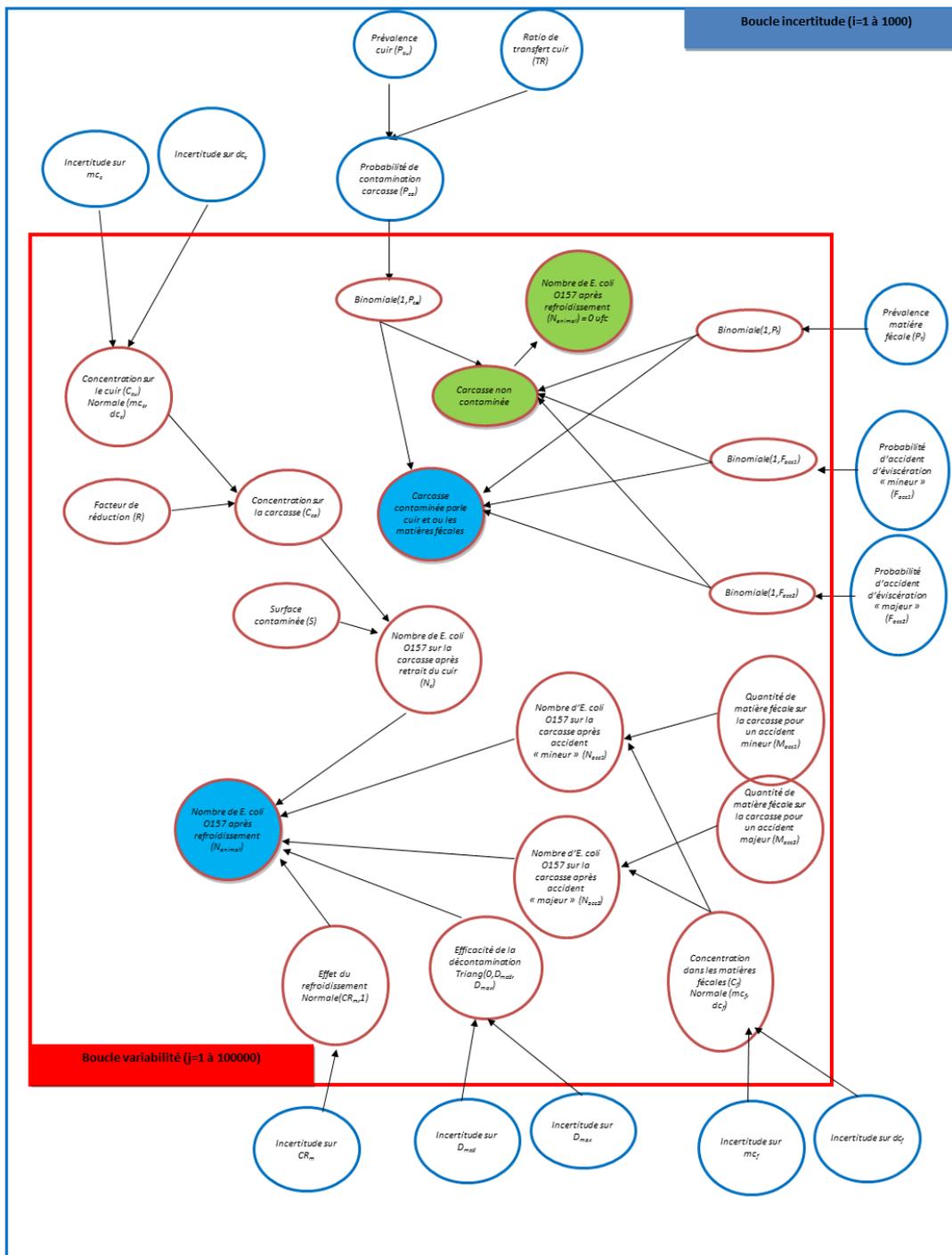


Figure 5 : Représentation schématique du modèle de simulation

1.1.5 Résultats

Les résultats (Tableau 4) des simulations du modèle présenté ci-dessus montrent la contamination en nombre d'ufc par carcasse. Ces résultats ont également été rapportés au cm² pour exprimer les résultats dans des unités habituellement utilisées et donc plus facilement appréciables. La surface extérieure d'une carcasse est estimée à 32 000 cm² (Cummins et al., 2008).

Tableau 4. Probabilité pour une carcasse de dépasser un niveau de contamination en *E. coli* O157 donné

Niveau de contamination après refroidissement	Pourcentage de carcasse concernée			Part des différentes sources de contamination (médiane)			
	2.5 percentile	Médiane	97.5 percentile	Cuir	Accident éviscération « mineur »	Accident éviscération « majeur »	Cuir+ accident d'éviscération
≥ 1 ufc/carcasse	1,88	11,95	25,94	98,9	1,0	0,2	0,0
≥ 1 ufc/100 cm ²	0,11	0,81	2,48	90,9	6,1	2,7	0,2
≥ 1 ufc/10 cm ²	0,02	0,17	0,59	74,7	15,4	10,6	0,2
≥ 1 ufc/ cm ²	0,004	0,041	0,126	34,9	26,6	31,0	7,5
≥ 10 ufc/ cm ²	0,000	0,014	0,039	6,2	32,5	57,2	4,1
≥ 100 ufc/ cm ²	0,000	0,014	0,039	0,0	23,6	76,1	0,3
≥ 1000 ufc/ cm ²	0,000	0,002	0,008	0,0	0,0	100,0	0,0

Clef de lecture des quatre dernières colonnes du tableau :

1ère colonne : nombre de bovins contaminés par le cuir uniquement et qui présentent un niveau de *E. coli* O157 supérieur au seuil (seuil défini dans la 1ère colonne) / nombre total de bovins qui ont un nombre de bactéries > au seuil (quelle que soit la ou les origines)

2ème colonne : nombre de bovins contaminés par un accident mineur uniquement et qui sont supérieurs au seuil /nombre total de bovins qui ont un nombre de bactéries > au seuil (quelle que soit la ou les origines)

3ème colonne : nombre de bovins contaminés par un accident majeur uniquement et qui sont supérieurs au seuil /nombre total de bovins qui ont un nombre de bactéries > au seuil (quelle que soit la ou les origines)

4ème colonne : nombre de bovins contaminés par le cuir et à la suite d'accident "mineur" et ou "majeur" et qui sont supérieurs au seuil /nombre total de bovins qui ont un nombre de bactéries > au seuil (quelle que soit la ou les origines)

Comparativement aux opérations de dépouille, les accidents d'éviscération contribuent peu à la prévalence globale des carcasses contaminées : en effet, d'après la modélisation, moins de 1,5% des carcasses qui sont contaminées auraient pour origine une contamination directe par le contenu digestif suite à un accident d'éviscération. En revanche, ces accidents d'éviscération seraient responsables de la quasi-totalité des contaminations par *E. coli* O157 supérieures à 100 ufc/cm².

L'incertitude sur les sorties apparaît faible malgré le fait que les incertitudes choisies sur les prévalences sur le cuir et dans les matières digestives sont importantes.

1.1.6 Conclusion

La démarche de modélisation utilisée ici permet de montrer que les carcasses de bovins ayant subi un accident d'éviscération majeur sont celles qui révèlent les concentrations les plus élevées d'*E. coli* O157 (et par extrapolation des autres souches de STEC). Ces carcasses, si elles sont utilisées en fabrication de viandes hachées, peuvent contribuer à des niveaux élevés d'*E. coli* O157:H7 dans les mêlées. Le risque de SHU étant directement relié à la concentration dans ces mêlées (Afssa, 2007a; Delignette-Muller and Cornu, 2008), une diminution importante du risque serait sans doute obtenue en écartant ces carcasses de la fabrication de certains produits susceptibles d'être consommés crus ou non cuits à cœur, surtout ceux ayant subi un procédé de fragmentation (ex : viande hachée). Dans tous les cas, et avant leur entrée en ressuage, ces carcasses devraient faire l'objet d'un marquage spécifique afin d'assurer la traçabilité de l'information, y compris en dehors de l'abattoir. Ce marquage apporterait une garantie supplémentaire à leur non-utilisation en l'état dans la fabrication de produits sensibles. De même, des mesures appropriées devraient être mises en œuvre sur les chaînes

d'abattage, en ressuage et au niveau des ateliers de découpe afin d'éviter les transferts de contamination de ces carcasses vers le reste de la production.

A l'avenir, il conviendrait que les opérateurs du secteur de l'abattage se donnent les moyens de réduire la survenue des accidents d'éviscération dit « majeurs ». Cela passe, en premier lieu, par l'identification et la hiérarchisation des causes associées à ces accidents d'éviscération. Sur ce plan, il conviendrait sans doute de dissocier le rôle respectif de l'animal (problème des adhérences, animaux récemment alimentés) et celui de la technologie d'abattage (mauvaise gestuelle, ergonomie des postes, abattage rituel, etc.).

Par ailleurs, une réflexion sur l'impact des accidents d'éviscération sur les risques associés à d'autres bactéries pathogènes (par exemple *Salmonella*) mériterait d'être conduite. Toutefois, à ce jour, celle-ci ne peut être poursuivie compte tenu du manque de données, notamment pour la prévalence et la distribution de la concentration de ces germes.

Enfin, même si les informations disponibles montrent que les deux principales sources de contamination (cuir et contenu digestif des bovins pendant la dépouille et l'éviscération) ont été prises en compte, des travaux complémentaires devraient également être menés pour mieux caractériser les autres sources de contamination potentielles (contenu du rumen, par exemple) ainsi que les modes de contamination (transfert de contaminations par le matériel, ou entre carcasses, par exemple).

La caractérisation de l'incertitude et la variabilité au sein du modèle indiquent que des recherches supplémentaires sont également nécessaires pour réduire l'incertitude des paramètres et ainsi de parvenir à une meilleure compréhension, et donc une meilleure maîtrise, du transfert microbien dans les abattoirs.

1.2 Evaluation des modes de réduction des contaminations en surface des carcasses

1.2.1 Contexte et questions posées

La Commission européenne a toujours montré une réticence vis à vis des traitements (correctifs) destinés à réduire la flore de surface des carcasses. Cette position s'appuie en premier lieu sur la réaffirmation d'axer la maîtrise de la qualité sanitaire des aliments sur des approches préventives et non correctives. En outre, des réserves ont pu être formulées sur l'emploi de substances anti microbiennes, tant vis-à-vis de leur innocuité, des résidus éventuels générés que des conséquences potentielles sur les équilibres microbiens (voir par exemple (Afssa, 2007b)).

Depuis les années 2005 – 2006, la perception des techniques de réduction de la flore superficielle des carcasses a cependant sensiblement évolué en Europe. En effet, compte tenu de l'émergence, au stade industriel, de procédés dits « naturels » (c'est à dire sans agent chimique à effets antimicrobiens) de traitement des carcasses et du renforcement des mesures d'hygiène sur les chaînes d'abattage, le recours à de telles approches, et en particulier à l'utilisation de la technologie « steam vacuum », est évoqué au niveau communautaire. Il convient toutefois que ces approches soient clairement identifiées par les utilisateurs comme des outils complémentaires par rapport aux options de maîtrise prises en élevage et en abattoir. Par ailleurs, des recommandations et/ou des réserves ont été formulées au niveau communautaire et par certains Etats membres quant aux modalités d'application des différentes techniques évoquées ci-après, tout particulièrement pour le douchage à l'eau chaude des carcasses (SCFCAH, 2009).

Dans ce contexte, la DGAL souhaite l'avis de l'Afssa sur les avantages et inconvénients des méthodes correctives de traitement des carcasses en vue de leur assainissement, potentiellement utilisables en pratique, ainsi que sur les critères d'appréciation de ces méthodes.

Au delà de ce point essentiel, les autorités interrogent aussi l'agence sur l'évaluation de différentes méthodes :

Quelle est l'efficacité de ces différentes méthodes ?

Quelle est l'efficacité, d'une part de la méthode de flambage en tant que méthode de réduction de la flore superficielle des carcasses et ce dans toutes les filières, notamment bovine, porcine et volailles, et d'autre part celle de la pratique du double flambage en filière porcine ?

Quelle est l'efficacité des parages réalisés par les professionnels :

- à court terme : parages précoces avant la mise en consigne ?
- à moyen terme ?

Quelle serait l'efficacité d'un douchage ?

Quel est le sur-risque représenté par ces carcasses destinées à la préparation de produits sensibles ?

Enfin, l'Afssa dispose-t-elle d'informations sur le risque de contamination par les salmonelles induit par les souillures de bile ?

1.2.2 Éléments de réponse

1.2.2.1 Rappel : présentation des principales approches disponibles en matière de la flore microbienne de surface des carcasses en Europe.

Depuis de nombreuses années, le recours à des traitements visant à réduire la flore superficielle des carcasses en fin, ou en cours d'abattage, est une pratique couramment mise en œuvre dans de nombreux pays, notamment aux Etats-Unis, au Canada, au Brésil, en Argentine, en Australie et en Nouvelle Zélande.

Les méthodes correctives appliquées sur la carcasse, notamment lors de la présence d'une souillure (par matières fécales, contenu digestif, contenu d'un abcès, poils) souvent associée à une contamina-

tion microbienne de surface, font l'objet d'une présentation plus détaillée en Annexe 1. De façon générale, elles peuvent se diviser en trois grandes catégories, mécaniques, physiques et chimiques. Nous apporterons ici les éléments essentiels de leurs principes.

- mécaniques : elles visent à ôter la souillure de la carcasse soit par une exérèse de la partie souillée, le parage, soit par une action décapante, comme lors de l'application d'eau sous pression sur la carcasse.
- physiques : elles s'inspirent des traitements thermiques chauds de conservation visant à un effet proche de la « pasteurisation » :
 - soit par mise en contact direct des surfaces souillées par les bactéries avec de l'eau chaude (> 57°C et jusqu'à 95° suivant les études) : ce sont des méthodes d'immersion, de douche, de rinçage à l'eau chaude ;
 - soit par projection de vapeur d'eau chaude ; elles associent souvent un procédé mécanique de pulvérisation d'eau sous une plus ou moins haute pression.
- chimiques : elles consistent en l'utilisation de composés chimiques, souvent des acides organiques, qui ont une action antibactérienne propre. Selon le règlement CE n°853/2004 (article 3), la décontamination ne peut être faite avec une autre substance que l'eau « sauf si l'utilisation de cette substance est approuvée ». Selon le règlement CE n°854/2004 (Annexe I, section II, chapitre V, alinéa I) « les viandes doivent être déclarées impropres à la consommation si elles [...] ont été traitées illégalement au moyen de substances décontaminantes » (c'est-à-dire avec une substance non approuvée). Une multitude de procédés/méthodes, le plus souvent basés sur l'emploi d'agents anti bactériens, a été expérimentée par plusieurs équipes, principalement aux Etats-Unis. Certains de ces procédés ont donné lieu à des applications de types industriels. Aujourd'hui, les abattoirs des pays concernés ont le plus souvent recours à 4 ou 5 agents anti bactériens (voir par exemple (Jaÿ, 2009; Koohmaraie et al., 2007; Koohmaraie et al., 2005; Peyron et al., 2008)). Le chlore et ses dérivés figurent parmi les produits les plus utilisés. Une synthèse exhaustive des applications de cet anti bactérien et de ses dérivés sur les différentes filières agroalimentaires a récemment été publiée (FAO, 2008). Le traitement des carcasses par des solutions d'acides organiques est également fréquemment pratiqué. Enfin il convient de citer l'emploi de phosphates trisodiques et de peroxyacides, tout particulièrement sur les carcasses de volailles.

Face aux approches qualifiées de traitements « chimiques », et compte tenu des réticences qu'elles ont toujours soulevées auprès de certains scientifiques et des autorités de la Commission Européenne (cf. « Contexte et questions posées »), des programmes de recherche ont progressivement été orientés vers des traitements dits « naturels », c'est à dire sans agents chimiques à effets antimicrobiens. Ce sont ces approches qui seront examinées dans la suite de ce texte. Elles reposent essentiellement sur l'utilisation d'eau plus ou moins chaude ; de vapeur (Dorsa et al., 1997; Sofos and Smith, 1998) ; le parage et le flambage.

1.2.2.2 Efficacité, avantages et inconvénients des différents modes de réduction de la contamination microbienne superficielle utilisés

Considérations générales

L'efficacité de ces méthodes doit être évaluée en termes :

- d'action corrective vis-à-vis de la carcasse elle-même : maîtriser le caractère dangereux de la viande du fait de la présence potentielle de dangers microbiologiques et de flores d'altération en préservant, dans la mesure du possible, ses caractéristiques organoleptiques (couleur, présentation, etc.). A ce niveau, l'efficacité d'une méthode doit être examinée en fonction des caractéristiques des souillures traitées (souillures « spot » circonscrites et d'une taille réduite provenant par exemple d'un contact entre la carcasse dépouillée et le cuir de l'animal, ou souillures étendues, généralement diffuses observées par exemple lors d'un accident d'éviscération).
- d'action corrective vis-à-vis du procédé d'abattage : il s'agit là de la maîtrise de la souillure, source éventuelle de dangers et de flores d'altération, pour limiter les risques de transferts de contaminations ; l'évaluation des risques du fait de la production de « déchets » (eau chargée en bactéries) ou sous-produits animaux contaminés (morceaux de parage, etc.), doit également être considérée.

Il s'agit donc d'évaluer l'efficacité de ces méthodes sur le détachement de la contamination bactérienne et l'inactivation de la flore adhérente. Pour cela ces méthodes doivent être décrites en termes de paramètres d'action (par ex. pression, température de l'eau, etc.) et de temps d'action. Dans la plupart des essais (plus d'une vingtaine de références sur ces méthodes), les effets sont évalués par le dénombrement de la flore mésophile totale ou de bactéries d'altération responsables de modification des propriétés organoleptiques du produit. Or si cette évaluation donne une indication des effets potentiels sur les dangers, cela ne constitue pas une réelle validation de la méthode pour ces derniers. Une petite dizaine d'études (Calicioglu et al., 2002; Castillo et al., 1998; Jaý, 2009; Morgan et al., 1996; Whyte et al., 2003) s'attache cependant à évaluer l'effet de ces méthodes sur différents dangers bactériens d'origine digestive, mais après inoculation (*Escherichia coli* O157/H7, salmonelles, *Campylobacter* thermotolérants).

Très peu d'informations est disponible sur l'importance du moment d'application de l'action corrective vis-à-vis de la réduction et/ou de l'inactivation de la population bactérienne présente en surface des carcasses. Néanmoins il est connu que le temps de contact des bactéries sur la matrice carnée est un facteur de variation de l'adhérence, de la survie et de la multiplication bactérienne. Enfin, les données scientifiques et techniques publiées ne fournissent pratiquement pas d'éléments permettant d'évaluer les conséquences des traitements au delà du stade de la carcasse. Ainsi, l'hypothèse d'un développement bactérien plus rapide sur les produits issus de carcasses traitées, par suite d'une éventuelle fragilisation de la matrice viande et/ou d'une modification des équilibres microbiens, ne peut pas être totalement écartée.

Efficacité, avantages et inconvénients des différents modes de réduction de la contamination microbienne superficielle utilisées

En matière d'avantages et d'inconvénients des méthodes examinées, les points suivants méritent d'abord d'être rappelés :

- Aucune de ces approches ne peut se substituer au respect des bonnes pratiques d'hygiène associées aux opérations d'abattage. Le respect de ces bonnes pratiques doit d'ailleurs être considéré comme un préalable à la mise en place - et au maintien - de tels modes de réduction de la contamination microbienne, sur les chaînes d'abattage.
- Aucune de ces approches ne permet, dans des conditions normales d'abattage, une réduction de la flore superficielle des carcasses supérieure à 1 ou 2 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$.
- Les performances des systèmes, par exemple ceux mettant en œuvre des cabines de douchage ou d'aspersion de vapeur, sont extrêmement dépendantes de la conception même de ces cabines et des appareils.
- Quel que soit le système considéré (cabine ou système portatif), les conditions de paramétrage et d'utilisation, définies par l'entreprise, sont également déterminantes quant à leurs performances.
- Compte tenu des éléments qui viennent d'être rapportés, il n'est pas possible de définir une réduction « standard » de la contamination superficielle des carcasses associée à ces traitements.
- Action faisant appel à de la vapeur

Les performances d'un traitement des carcasses bovines en cabine par « flash pasteurisation » (procédé SPS, cf. Annexe 1) ont été évaluées successivement sur des carcasses artificiellement contaminées puis dans des conditions réelles d'abattage. Au cours des essais pilote (Phebus et al., 1997), des carcasses contaminées à hauteur de 5 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ par *Listeria monocytogenes*, par *E. coli* O157 : H7 ou par des salmonelles, ont été soumises au traitement SPS. Vis-à-vis de ces trois espèces, une réduction d'environ 3 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ a été observée. Les tests réalisés en conditions industrielles ont été conduits sur des carcasses particulièrement propres (contamination moyenne de 2.2 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ en flore aérobie mésophile), situation résultant de l'application d'un traitement décontaminant (*a priori* par douchage) en fin de chaîne d'abattage, en amont du procédé SPS (Nutsch et al., 1997). La contamination bactérienne de ces carcasses, après application du procédé SPS, est en moyenne d'1 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ (en flore aérobie mésophile) après 24 heures de stockage. En outre, le pourcentage de carcasses sur lesquelles les entérobactéries pouvaient être dénombrées diminue de 46% avant traitement (valeurs comprises entre 0.6 et 2.3 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$) à 29% après traitement ou 24 heures plus tard (valeurs comprises entre 0.6 et 2 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$).

Concernant les équipements portatifs de type « steam vacuum » (cf. Annexe 1), et à l'image de ce qui a été dit pour les traitements en cabine, l'évaluation du pouvoir assainissant du procédé par des équipes américaines a, le plus souvent, été établie en conditions expérimentales, sur des carcasses présentant une contamination superficielle de 5-6 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ par suite d'une inoculation à l'aide de cultures bactériennes ou par étalement de fèces. Dans ces conditions et pour les différentes flores testées (flore aérobie mésophile, *E. coli*, *E. coli* 0157:H7), des réductions de contamination variant de 2 à 4 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ ont été observées (Dorsa et al., 1997). La dispersion des résultats obtenus est attribuée à la disparité des modalités de traitement d'un essai à un autre (temps de traitement et nombre de passages sur une même zone). Le peu de données relatives à l'effet « assainissant » de ces procédés, dans des conditions réelles d'abattage, témoigne d'une réduction de 1,7 à 2 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$ de la flore aérobie mésophile des carcasses après traitement, lorsque les zones traitées étaient initialement souillées par des fèces (Kochevar et al., 1997). Comparativement, dans des conditions analogues de durée de traitement, sur des carcasses visuellement propres, le procédé « steam vacuum » révèle un effet réducteur extrêmement limité (0.5 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$) voire nul.

En Europe, un combiné « vapeur / aspiration » a été conçu en 2004 par le Danish Meat Research Institute (DMRI). L'évaluation des performances de ce matériel aboutit à des conclusions similaires à celles des travaux américains, à savoir une efficacité réelle vis-à-vis de l'élimination des souillures visibles présentes en surface des carcasses, associée à une diminution des contaminations bactériennes. Cette réduction n'est toutefois pas observée sur des surfaces initialement propres (Steenberg et al., 2006; Steenberg et al., 2005). En France, un matériel de type « steam vacuum » a récemment été testé sur des carcasses porcines (LeRoux et al., 2008) et bovines (Cartier et al., 2010). Les essais conduits sur l'espèce porcine ont démontré l'équivalence entre le parage et le traitement « steam vacuum » pour des carcasses ayant subi un accident d'éviscération et qui sont traitées en aval de la chaîne d'abattage. Concernant les expérimentations conduites en abattoir de bovins, l'objectif a été d'évaluer l'efficacité du matériel avec un temps de traitement court, compatible avec une utilisation sur les chaînes d'abattage. Les résultats obtenus témoignent d'une réduction des contaminations, tant sur des carcasses visuellement souillées (réduction d'environ 2 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$), que sur des carcasses visuellement propres (réduction d'environ 1 $\log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$). Un avantage de cette méthode est qu'elle évite les transferts de contaminations et la dissémination des bactéries sur la carcasse par un ruissellement d'eau chargée en bactéries (Koochmaraie et al., 2005).

Au delà de ces points essentiels, ces différentes méthodes présentent un certain nombre d'avantages et d'inconvénients, distincts selon qu'il s'agisse d'une cabine ou d'un système de type « steam vacuum ».

Le traitement des carcasses en cabine présente l'avantage d'être totalement automatisé, de traiter l'ensemble de la surface de la carcasse. En contre partie, cette technologie nécessite un investissement et un coût de fonctionnement élevés. En outre, son intégration sur une chaîne d'abattage incite les opérateurs à recourir à ce procédé de façon systématique (traitement de toutes les carcasses) ou quasi-systématique (traitement des carcasses d'une séquence d'abattage). Concernant la comparaison d'une cabine vapeur / cabine eau chaude (voir paragraphe suivant), trois éléments méritent d'être soulignés. D'un point de vue réglementaire, l'emploi de la vapeur présente l'avantage d'avoir un statut clair, alors que le positionnement des autorités vis à vis du douchage à l'eau chaude reste à venir (SCFCAH, 2009). D'un point de vue technique, des cabines par douchage sont actuellement proposées par les équipementiers. En revanche, à notre connaissance et comme cela a été souligné en Annexe 1, aucune cabine par aspersion de vapeur n'est disponible, à ce jour, sur le marché et le développement de tels équipements semble aujourd'hui fortement handicapé par les brevets déposés en 1995 par les concepteurs de la cabine SPS (cf. partie « Rappel : présentation des principales approches disponibles en matière de la flore microbienne de surface des carcasses »). Enfin, d'un point de vue économique, le douchage à l'eau chaude est pénalisé par les quantités importantes d'eau nécessaires (au minimum 120 – 150 litres par carcasse), l'utilisation d'eau recyclée sans traitement de potabilisation n'étant pas permise au niveau communautaire.

Les équipements de type « steam vacuum », quant à eux, nécessitent un investissement moindre. De même, leur coût de fonctionnement est sans commune mesure avec celui d'une cabine. Par ailleurs ils offrent une plus grande souplesse d'utilisation. Ainsi l'examen des pratiques professionnelles actuelles (Cartier et al., 2010) révèle trois utilisations distinctes de ces systèmes :

- L'élimination des souillures circonscrites, présentes en surface des carcasses bovines. Il s'agit là de l'objectif initial recherché avec ce type de matériel. Le traitement est effectué sur la chaîne d'abattage (traitement en ligne). Il s'agit par conséquent d'une intervention de courte durée (quelques secondes), qui a lieu peu de temps après que la carcasse ait été souillée, avec une

mise en œuvre non systématique car, par principe, orientée spécifiquement sur les carcasses qui ont fait l'objet de souillures circonscrites. C'est ce que les américains appellent « le spot ning² ».

- La deuxième utilisation des systèmes de type « steam vacuum » parfois adoptée par les opérateurs sur la chaîne d'abattage est un traitement systématique des carcasses. L'objectif recherché est ici de réduire la microflore des régions anatomiques réputées pour être les plus sujettes aux contaminations lors des opérations d'abattage (jarrets, collier, poitrine). Cette utilisation est souvent mise en avant par les équipementiers, au travers de ce qu'ils appellent « le toilettage des carcasses ». Il est clair que là encore le temps de l'intervention est très court.
- Enfin, les systèmes « steam vacuum » peuvent être utilisés en aval de la chaîne d'abattage, dans un endroit approprié où sont orientées les carcasses sur lesquelles le traitement est jugé nécessaire. Cette application correspond au traitement de carcasses qui présentent des souillures étendues ne pouvant, pour des questions de temps, être traitées en temps réel sur la chaîne.

L'inconvénient majeur de ces équipements portatifs est inhérent à leur conception et réside dans le fait que l'effet assainissant obtenu est extrêmement dépendant de la procédure d'utilisation définie par l'entreprise et de son strict respect par l'opérateur chargé de la manipulation du système (voir par exemple (Sofos and Smith, 1998).

- Action faisant appel au douchage, rinçage, aspersion d'eau

Le rinçage ou douchage ou l'aspersion, d'une partie de la carcasse ou de la carcasse entière avec de l'eau, peut avoir un double effet : un effet mécanique permettant de réduire la souillure et un effet d'inactivation des flores. Pour ce dernier, les différents travaux s'accordent sur le fait que les effets d'inactivation ne sont significatifs que si la température de l'eau est portée à plus de 74 °C. L'effet mécanique est en revanche plus variable, dépendant de la pression d'aspersion, de la structure histologique de la surface contaminée et des capacités d'adhérence de la flore bactérienne. Néanmoins toutes les références traitant des carcasses par rinçage/douchage/aspersion avec de l'eau, montrent une disparition de la souillure macroscopique avec une réduction partielle de la contamination bactérienne de surface. L'amplitude de la réduction est de l'ordre de : 0,3 log₁₀(ufc)/échantillon de couenne et de muscles avec séreuse et sans séreuse en l'absence de pression (Jaÿ, 2009), à 0,4 et 0,5 log sur des carcasses d'agneaux avec une pression de 5,6 bars et 7,7 bars (Kelly and Dempster, 1981) et jusqu'à 2 log avec une pression de 17 à 27 bars sur des carcasses de bovins (Castillo et al., 1998). La réduction varie en fonction des flores testées et des différences sont observées entre les microorganismes comme les *Campylobacter* thermotolérants, salmonelles, *E. coli* O157/H7 et la flore totale. Cet effet pourrait donc dépendre des capacités d'adhérence de la flore bactérienne et ce quelle que soit la nature de la surface (peau de poulets, couenne, muscles et séreuses de bovins) (Barkate et al., 1993; Castillo et al., 1998; Kelly and Dempster, 1981).

Il est également prouvé que ces méthodes de rinçage/douchage/aspersion peuvent redistribuer les bactéries vers d'autres parties de la carcasse et élargir la surface contaminée (Bell, 1997; McEvoy et al., 2003a). Les travaux expérimentaux de (Jaÿ, 2009) montrent par ailleurs que la répartition sur les surfaces voisines, du fait du « ruissellement » de l'eau chargée, dépend peu du mode de contamination de la surface, que ce soit une contamination focale (gouttes d'inoculum) ou une contamination en nappe (étalement de l'inoculum) (Magras et al., 2010) mais dépend là encore des capacités d'adhérence du genre bactérien (flore totale *versus* *Campylobacter*).

Enfin, pour les cabines de douchage en fin de chaîne et comme évoqué précédemment, le niveau de réduction de la flore superficielle des carcasses sera étroitement fonction des caractéristiques de la cabine (type de buses notamment) et surtout de ses conditions d'utilisation (temps de douchage, pression et température de l'eau). Il semble qu'une réduction d'environ 2 log₁₀(ufc)/cm² de la flore superficielle des carcasses soit techniquement envisageable et économiquement viable à la condition toutefois que l'on procède au recyclage de l'eau, pratique autorisée outre-Atlantique mais pas en Europe sans traitement de potabilisation. Cette technologie est utilisée en routine dans bon nombre d'abattoirs australiens, canadiens, américains, et, plus récemment, européens.

² Dans la réglementation américaine le terme « spot » fait référence à des souillures dont le diamètre n'excède pas 2.5 cm²

- Action faisant appel au parage

Il est à noter que le parage est l'action corrective préconisée par défaut par le Règlement CE n°853/2004 (annexe III, chapitre 4, alinéa 10) lors de souillures d'origine digestive de la carcasse : « les carcasses doivent être exemptes de toute contamination fécale visible. Toute contamination visible doit être éliminée sans tarder par le parage ou tout autre procédé ayant un effet équivalent. ».

Par principe, l'efficacité du parage vis à vis de la réduction de la souillure bactérienne des carcasses ne peut être que totale. Quelques publications réalisées en conditions expérimentales (voir par exemple (Jaÿ, 2009)) viennent étayer ce constat. Cependant en pratique, l'efficacité du parage peut toutefois être modulée par différents éléments qui relèvent, en partie, du respect des bonnes pratiques d'hygiène et de la gestuelle adoptée par les opérateurs.

En premier lieu, la partie parée doit, à l'évidence, englober l'intégralité de la zone contaminée, tant dans sa superficie que dans sa profondeur :

- L'étendue de la surface susceptible d'être parée constitue un frein pratique à l'utilisation du parage. Celui-ci sera d'autant plus efficace et aisé à réaliser qu'il visera à traiter des surfaces réduites présentant des souillures circonscrites (qualifiées de « souillures spot »). A contrario, le parage de surfaces étendues présentant des souillures plus ou moins diffuses est difficilement réalisable, tout particulièrement si ces surfaces ne sont pas planes. Cette situation peut correspondre, par exemple, au parage de la partie interne d'une carcasse bovine ayant fait l'objet d'un accident d'éviscération majeur.
- En ce qui concerne la profondeur du parage, il convient de dissocier le traitement de carcasses sur la chaîne d'abattage, c'est à dire moins d'une heure après la contamination des masses musculaires, du traitement de carcasses qui auraient séjourné plusieurs jours en salle réfrigérée de stockage. Dans la première situation, il est unanimement reconnu que la contamination concerne exclusivement la partie superficielle des carcasses. La profondeur du parage à réaliser peut être estimée à partir d'études évaluant la pénétration en profondeur du muscle par des bactéries lors de sa contamination en surface, avant son refroidissement (Elmossalami and Wassef, 1971; Gill and Penney, 1977). Mais ces études assez anciennes et parfois contradictoires, portent sur des bactéries de la flore totale ou d'altération, et pas sur des dangers bactériens. Il apparaît néanmoins que la capacité pour des bactéries à pénétrer la surface d'un muscle intègre est liée au caractère protéolytique de ces bactéries et notamment à la possibilité de détruire ou d'altérer la barrière conjonctive qui relie les fibres musculaires entre elles. Dans ce cas, la profondeur de pénétration ne dépasse pas les 2 cm (Gill and Penney, 1977). Une étude expérimentale récente (Jaÿ, 2009) portant sur les capacités d'adhérence et de pénétration d'un danger bactérien d'origine digestive, *Campylobacter* thermotolérant, sur des échantillons du muscle Rectus abdominis contaminés sur sa face péritonéale (face recouverte naturellement du péritoine) (n = 29), confirme l'absence de pénétration de la séreuse par ces bactéries. Cette étude a par ailleurs montré qu'en l'absence d'une protection physique de la surface des fibres musculaires, telle que la présence d'une séreuse (n=44 muscles sans séreuse contaminés), aucune présence de bactéries n'a été détectée au-delà de 0,5 cm de profondeur. Ces résultats sont indépendants du mode de contamination (contamination focale en surface ou contamination en nappe en surface) et du temps de contact (10 minutes ou deux heures pour (Jaÿ, 2009) ; plusieurs jours pour (Fournaud et al., 1980) (28 j, 0-2°C) et (Gill and Penney, 1982) (4j)). Il est à noter que les *Campylobacter* thermotolérants, à l'instar de *Salmonella*, *E. coli* shigatoxinogènes, *Yersinia* et *Listeria monocytogenes* n'ont aucun effet protéolytique notoire (Euzéby, 2007). Il ressort donc que l'élimination d'une épaisseur de 0,5 cm, 2 cm au maximum, réduit totalement le risque de présence de bactéries.

En second lieu, l'outil de parage ne doit pas être une source et / ou un vecteur de transfert de la contamination. L'apport potentiel de microorganismes par l'outil de parage, est dépendant des pratiques d'hygiène sur les chaînes d'abattage, notamment en matière de nettoyage et de désinfection du petit matériel, en matière de gestuelle et de consignes données aux opérateurs vis à vis de la gestuelle et des fréquences de changement de couteaux. Toute défaillance à ce niveau peut être extrêmement préjudiciable pour l'hygiène des carcasses au travers du risque élevé de transfert de contaminations. Ce risque est d'autant plus élevé que le matériel est ici dédié au traitement de surfaces pouvant être massivement contaminées.

L'efficacité du parage reste conditionnée par le respect d'un certain nombre de bonnes pratiques d'hygiène. Cette opération doit par conséquent être intégrée, à part entière, dans la démarche

HACCP de l'entreprise. Il est bon de rappeler aussi que cette méthode génère des déchets biologiques identifiables selon le Règlement (CE) n° 1069/2009³.

- Action faisant appel au flambage

Le flambage est une étape de la chaîne d'abattage en matière de préparation des carcasses porcines. Au cours de ce procédé, la température de surface atteint environ 100°C, permettant ainsi de réduire la contamination de surface des carcasses. (Gill and Bryant, 1993) ont mis en évidence des réductions de 2 log₁₀/cm² des *E. coli* présentes sur carcasses.

Cependant, l'étape de polissage qui suit cette opération est généralement re-contaminante. C'est pourquoi des entreprises ont ajouté un deuxième flambage, juste avant l'étape d'éviscération. Des essais, effectués dans trois abattoirs différents, ont démontré l'intérêt du double flambage qui améliore la décontamination en moyenne de 2 log/cm² en flore aérobique mésophile et de 0,5 log₁₀/cm² en entérobactéries ((Minvielle et al., 2005), cf. ci-après).

D'après (Minvielle et al., 2005), l'intérêt du double flambage, en abattage de porcs, est indéniable. Comparativement à un simple flambage, le recours à un second four permet de limiter les risques de re-contamination des carcasses par la flagelleuse située après le premier four, assurant ainsi l'arrivée de carcasses moins contaminées à l'entrée du hall d'habillage. Toutefois, l'efficacité de ce second flambage semble dépendre de la façon dont il est réalisé ainsi que de la contamination initiale des carcasses, à la sortie de l'épileuse.

Concernant l'espèce bovine, à notre connaissance, aucune publication n'a été consacrée à l'utilisation du flambage pendant ou après les opérations d'abattage, bien que cette question soit quelquefois soulevée par les opérateurs.

1.2.2.3 Identification de critères d'appréciation des modes de réduction de la contamination microbienne superficielle des carcasses

En matière de critères d'appréciation des modes de réduction de la contamination microbienne superficielle des carcasses, il convient de dissocier deux situations.

La première concerne, lors de la mise en œuvre de « système » (systèmes « steam vacuum » par exemples), la validation initiale de ce système. Celle-ci est avant tout du ressort de son concepteur. Ainsi, l'entreprise qui a mis le « système » sur le marché, doit fournir un dossier technique incluant, entre autres, des essais expérimentaux montrant que le procédé est efficace sur le plan microbiologique, y compris vis à vis de microorganismes pathogènes. Sur ce plan, les concepteurs peuvent s'appuyer sur les lignes directrices fournies par l'EFSA, récemment révisées (EFSA, 2010) relatives à la validation de procédés chimiques d'assainissement des carcasses. Les éléments complémentaires que les concepteurs doivent fournir sur leur matériel ne seront pas développés dans la suite de ce document. A son niveau, l'abatteur doit procéder à un certain nombre de vérifications lors de l'acquisition du « système ». Sans être une validation à proprement parlé, les contrôles réalisés ici doivent permettre de justifier le choix de l'entreprise d'implanter le « système » sur la chaîne d'abattage. Dans la suite de ce document, on parlera ici de la « qualification » du système par l'abatteur.

La seconde situation qu'il convient d'envisager en matière de critères d'évaluation des systèmes de réduction de la contamination microbienne superficielle des carcasses concerne la surveillance. L'efficacité des actions et systèmes restant conditionnée par le respect d'un certain nombre de bonnes pratiques d'hygiène, de paramétrages des valeurs (température, pression, temps d'action, gestuelle, épaisseur et largeur du parage, etc.), toute opération visant à corriger une contamination microbienne doit par conséquent être intégrée, à part entière, dans la démarche HACCP de l'entreprise. Aussi et contrairement à la situation précédente, les contrôles devront être répétés dans le temps, selon une fréquence fixée par l'entreprise. En outre, les critères d'appréciation des méthodes de réduction de la flore des carcasses devront être raisonnés en fonction du type de procédé, à savoir un traitement en cabine ou un traitement localisé avec des approches de types « steam vacuum ».

³ RÈGLEMENT (CE) No 1069/2009 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine et abrogeant le règlement (CE) no 1774/2002 (règlement relatif aux sous-produits animaux)

- Critères d'appréciation des modes lors de leur qualification

En premier lieu, l'entreprise doit définir des modalités précises d'utilisation du(des) matériel(s) engagés en fonction du mode de réduction retenu. Ainsi et à ce niveau, elle est incitée à s'appuyer sur les recommandations communautaires récemment émises (SCFCAH, 2009) Au delà de recommandations implicites (par exemple une ventilation suffisante du hall d'abattage lors de l'utilisation de vapeur), l'attention des utilisateurs devra être attirée sur deux points : d'une part l'alimentation du système avec de l'eau potable, sans recyclage de celle-ci, et d'autre part la vérification de l'absence d'altération de l'aspect des carcasses (couleur notamment). En second lieu, l'évaluation de l'efficacité microbiologique du mode, par des analyses microbiologiques, doit être faite. Dans ce but, la méthode suivante est préconisée :

- Les prélèvements sont réalisés par excision (selon la norme NF V04-501) ou toute méthode équivalente, sur un minimum de cinq carcasses (ou demi carcasses) ainsi « traitées » représentatives d'une journée d'abattage.
- Par carcasse (ou demi carcasse), ces prélèvements sont effectués avant puis après l'application du mode de réduction sur des sites anatomiques spécifiques selon la nature du système de traitement des carcasses. Lors de l'utilisation d'une cabine, ces sites sont au nombre de quatre et correspondent à ceux qui sont classiquement utilisés en autocontrôle de l'hygiène de l'abattage. Concernant l'utilisation d'un système de type « steam vacuum » ou le parage, les prélèvements concernent les zones qui ont fait l'objet du traitement.
- Ces contrôles doivent être répétés sur plusieurs journées d'abattage, de façon à recueillir suffisamment de données, afin d'en réaliser une exploitation statistique.
- La FAM et les entérobactéries (ou *E. coli*) sont utilisés comme des indicateurs bactériens.

- Critères potentiels lors de leur surveillance

La surveillance des « systèmes » peut être assurée par deux types de contrôles :

- Des contrôles physiques. Il s'agit là de vérifier l'absence de dérive des paramètres de fonctionnement des équipements, notamment la température et la pression de l'eau (ou de la vapeur), la propreté des couteaux et la température de l'eau de lavage de ces couteaux, etc.
- Des contrôles relatifs à l'utilisation des matériels (gestuelle). Ce point, particulièrement important pour les systèmes manuels de type « steam vacuum », ou le parage, consiste à s'assurer que l'opérateur respecte la procédure préalablement définie en matière d'utilisation du matériel (distance entre la tête de traitement et la surface de la carcasse, temps d'application, propreté et spécificité du matériel, etc.). Au préalable, l'entreprise devra avoir défini un plan de formation adéquat pour les opérateurs affectés aux tâches de traitement de réduction de la contamination superficielle des carcasses.

En outre, l'entreprise est incitée à réaliser ponctuellement des contrôles microbiologiques, selon une fréquence qu'elle devra définir.

Enfin, des dispositions spécifiques devront être prévues en cas de défaillance constatée au niveau du respect des bonnes pratiques d'hygiène sur la chaîne d'abattage.

1.2.2.4 Souillures par la bile – risque vis-à-vis des salmonelles

Le groupe de travail chargé de la rédaction du présent rapport n'a pas connaissance d'informations particulières sur cet aspect, mais signale qu'une souillure par la bile confère un caractère impropre à la denrée du fait d'un défaut des caractéristiques organoleptiques (couleur, goût) et que ceci constitue un motif réglementaire de retrait pour caractère impropre de la denrée.

1.2.3 Conclusion

Quelle que soit l'espèce animale, on ne peut que recommander le respect des bonnes pratiques d'hygiène d'abattage dont l'objectif est de limiter la fréquence de souillures visibles et le transfert des dangers microbiens (et des flores d'altération) depuis les réservoirs digestifs et cutanés vers la carcasse. Néanmoins, dans l'optique d'une maîtrise optimale des risques sanitaires et des transferts de contamination lors du procédé d'abattage (matériels, autres carcasses) du fait d'une contamination microbienne par souillure d'une carcasse, le recours à un traitement susceptible de réduire les souillures visibles et microbiennes en surface des carcasses peut être envisagé.

En termes d'efficacité, on retiendra que tous les traitements opérationnels (et autorisés) à ce jour conduisent dans des conditions normales d'abattage, à une réduction partielle et variable de la flore superficielle des carcasses (de l'ordre de $1 - 2 \log_{10}$).

Les carcasses préparées selon les bonnes pratiques d'hygiène, et qui n'ont pas fait l'objet d'un repérage pour accident d'éviscération, peuvent recevoir un traitement eau chaude/vapeur qui dans ce cas est préventif et non plus curatif, et être librement utilisées.

Concernant les carcasses qui ont subi un accident d'éviscération :

Les accidents d'éviscération devraient être tracés. Lorsque le parage est inapplicable ou que son efficacité est jugée insuffisante, on peut envisager l'emploi des dispositifs décrits ci-dessus (vapeur ou eau) sous les conditions suivantes :

- la température de la surface de la carcasse doit atteindre 74°C minimum.
- La traçabilité des carcasses ainsi traitées doit être assurée.
- Les carcasses ainsi traitées ne devraient pas être destinées à la fabrication de produits sensibles type viande hachée.

Dans tous les cas, les autres actions correctives envisagées ici, si elles sont engagées, doivent être mises en œuvre le plus rapidement possible et décrites techniquement afin de garantir leur efficacité.

Concernant plus spécifiquement les critères d'appréciation de ces modes de correction d'une contamination superficielle de la carcasse, les abatteurs sont incités à intégrer cette action dans leur système HACCP, à procéder à une qualification initiale puis à une surveillance régulière des modes de réduction mis en place. Au delà du respect des exigences réglementaires, la quantification de l'impact de ce mode sur la microflore des carcasses, dans le contexte de l'utilisation de l'entreprise, devrait être estimée durant la phase de qualification. La surveillance, quant à elle, semble pouvoir être assurée par le contrôle de paramètres physiques (température et pression de l'eau ou de la vapeur, notamment) accompagné de la vérification de la gestuelle des opérateurs, pour les systèmes manuels de type « steam vacuum » ou le parage. Dans tous les cas, des dispositions devraient être appliquées en cas de dérive de la gestuelle.

En définitive, en termes de gestion des risques majeurs de souillures (hors décision de retrait de la carcasse), si une mise en œuvre d'un traitement correctif de réduction de la contamination microbienne superficielle est effectuée, il est nécessaire :

- d'identifier la carcasse « traitée » et
- d'évaluer l'efficacité d'assainissement du traitement appliqué par toute méthode microbiologique pertinente.

En termes plus concrets, il apparaît nécessaire de produire de nouvelles données scientifiques sur les capacités d'adhérence spécifiques des dangers bactériens pouvant être présents dans ces contaminations. En effet l'analyse des risques liés à l'exposition du consommateur à des viandes contaminées par des dangers bactériens doit envisager deux aspects :

- le transfert des bactéries depuis leur réservoir ou d'autres sources secondaires (matrices inertes tels que des matériels) vers la viande ;
- l'inactivation ou la survie des bactéries présentes sur cette matrice alimentaire complexe. En effet, il apparaît de plus en plus que ces deux phénomènes sont dépendants de la nature de la matrice et du niveau d'attachement des bactéries à la surface de la matrice (Magras et al., 2010; Warriner et al., 2001).

1.3 Evolution de la contamination de surface des carcasses

1.3.1 Contexte et questions posées

Lors du fonctionnement d'un abattoir, il est possible que la chaîne d'abattage soit stoppée pour des raisons matérielles (voire organisationnelle comme les changements d'équipe). Ces événements vont conduire les carcasses en cours de préparation à rester dans le hall d'abattage à des températures proches de la température ambiante.

Avec la réglementation du « paquet hygiène », l'obligation de résultats prévaut désormais sur l'obligation de moyens. Ainsi aujourd'hui il n'existe pas de délai spécifiant le temps maximum entre l'abattage et l'entrée dans les chambres froides. Aussi la DGAL souhaite déterminer le « risque d'évolution de la microbiologie de surface » pour des carcasses demeurant un temps prolongé dans le hall d'abattage.

1.3.2 Méthodologie

1.3.2.1 Démarche utilisée

La démarche proposée pour traiter de cette question est basée sur la transformation de cinétiques de température en potentiel de croissance bactérienne à l'aide de modèles de prévision de croissance microbienne. Cette approche est également dénommée « intégration temps-température » ou « intégration de la fonction température ». Cette démarche est assez largement répandue et décrite dans la littérature (McMeekin, 2007). Les exemples d'utilisation de l'intégration temps-température sont nombreux dans le domaine de la réfrigération des viandes (Gill and Bryant, 1997; Gill et al., 2000; Gill et al., 1991; Gill and Jones, 1992, 1997; Gill and Landers, 2003).

A partir des cinétiques de température, le taux de croissance est estimé sur chaque intervalle de temps et le potentiel de croissance des microorganismes considérés est calculé. La démarche globale peut être représentée comme sur la Figure 6.

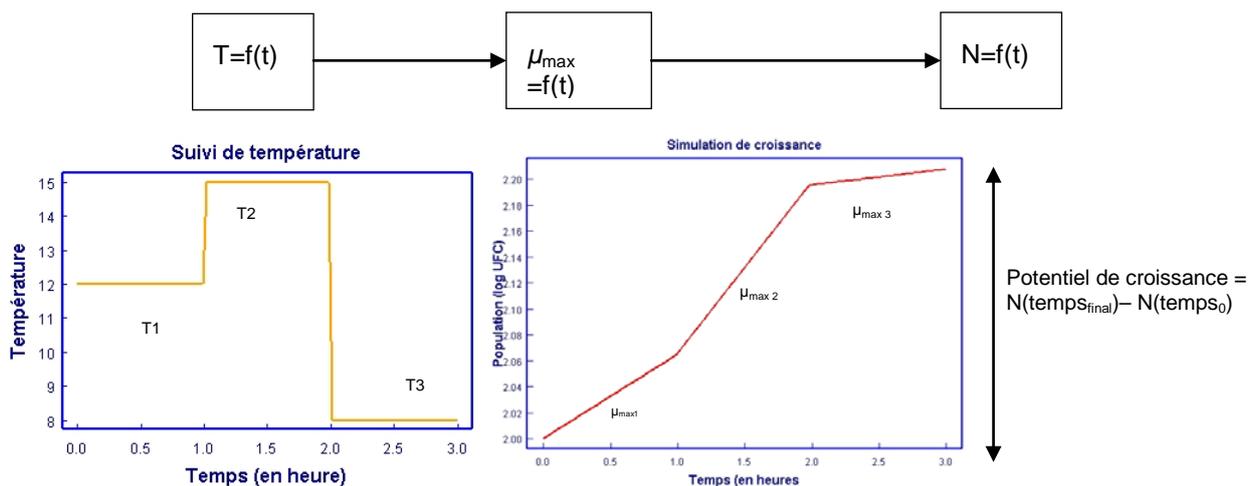


Figure 6. Présentation schématique de la démarche utilisée

1.3.2.2 Choix des microorganismes

La liste des contaminants microbiologiques pouvant être présents à la surface des carcasses est grande. Ces contaminants microbiologiques peuvent être responsables de la dégradation de la qualité organoleptique ou de la sécurité des produits issus de ces carcasses.

Plusieurs micro-organismes pathogènes pourraient être testés : *Yersinia* et *Salmonella* pour les carcasses de porc, *E. coli* et *Salmonella* pour les carcasses de bovins et *Salmonella* pour les carcasses de volaille.

Cependant en l'état actuel des connaissances, pour l'ensemble de ces micro-organismes il est difficile de définir objectivement un niveau acceptable à ne pas dépasser en fin de chaîne d'abattage.

Les seuls micro-organismes pour lesquels un seuil de quantification est directement disponible (dans la réglementation 2073/2005 sur les critères microbiologiques) sont les critères d'hygiène des procédés (flore mésophile ou Enterobacteriaceae).

1.3.2.3 Choix des modèles de croissance et hypothèses

Choix d'un modèle pour les Enterobacteriaceae

Deux modèles sont disponibles pour apprécier la croissance bactérienne des Enterobacteriaceae. Ces deux modèles ont été développés pour les coliformes (Smith, 1985) et pour *E. coli* (Gill et al., 1991; Reichel et al., 1991). Il est considéré que la croissance des Enterobacteriaceae peut-être rapprochée de celle des coliformes ou d'*E. coli*.

Les prévisions de taux de croissance de ces deux modèles étant proche, seul l'un d'entre eux a été utilisé dans ce rapport.

E. coli est souvent considéré comme une espèce majoritaire parmi les Enterobacteriaceae et les coliformes sur les carcasses (Bohaychuk et al., 2009; Ghafir et al., 2008). Le modèle testé (Gill et al., 1991; Reichel et al., 1991) permet d'estimer la croissance d'*E. coli* (μ , exprimée générations par heure) en fonction de la température (T) en condition aérobie :

$$\mu = \begin{cases} [(0.05 \cdot T) - 0.1]^{2.7} & 7^{\circ}\text{C} < T \leq 30^{\circ}\text{C} \\ [(0.02T) - 0.5]^{2.5} & 30^{\circ}\text{C} < T \leq 40^{\circ}\text{C} \\ 2.6 \cdot 6^{-T/10} & 40^{\circ}\text{C} < T \leq 45^{\circ}\text{C} \\ 0 & T \leq 7^{\circ}\text{C} \quad T > 45^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

Ce taux de croissance est ensuite intégré dans un index d'hygiène de procédé (« *Process Hygiene Index* » - PHI). Le PHI se calcule de la façon suivante :

$$PHI = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

Le PHI est également exprimé en accroissement total d'*E. coli* (Lovatt et al., 2006) $N_{E. coli}$:

$$N_{E. coli} = 2^{PHI} \text{ (eq. 1c)}$$

Il existe un modèle spécifique des Enterobacteriaceae (Koutsoumanis et al., 2006) sur les viandes ; toutefois il ne permet pas de calculer le taux de croissance pour des températures supérieures à 20°C (ce qui est le cas ici).

Choix d'un modèle pour la flore totale

Gill & Jones (Gill and Jones, 1997) calculent la croissance potentielle de *Pseudomonas* psychrophiles pendant la réfrigération de carcasses de porc et compare cet accroissement calculé à celui mesuré de la flore totale. Dans cette étude, comme dans une autre étude sur la ressuage des carcasses de bovin (Gill and Landers, 2003), l'accroissement de la flore totale pendant le refroidissement des carcasses est principalement attribué à la croissance des *Pseudomonas*.

Pour *Pseudomonas*, le modèle publié par Gill & Jones (Gill and Jones, 1992) a été utilisé. Il permet d'estimer la croissance de *Pseudomonas* (μ , exprimée en générations par heure) en fonction de la température (T) en condition aérobie :

$$\mu = \begin{cases} [(0.033 \cdot T) + 0.27]^2 & -2^{\circ}\text{C} < T \leq 25^{\circ}\text{C} \\ 1 & 25^{\circ}\text{C} < T \leq 35^{\circ}\text{C} \\ 0 & T \leq -2^{\circ}\text{C} \quad T > 35^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

L'accroissement de *Pseudomonas* se calcule de la façon suivante :

$$N_{Pseudomonas} = 2^{\sum_1^n \mu_i \cdot (t_{i+1} - t_i)}$$

1.3.2.4 Températures à la surface des carcasses

Plusieurs hypothèses/simplifications peuvent être envisagées :

La première consiste à utiliser la température réelle à la surface des carcasses. Or celle-ci est le plus souvent inconnue.

La deuxième consiste à considérer la température de surface des carcasses comme constante pendant toute la durée du maintien de la carcasse dans le hall d'abattage. C'est cette hypothèse qui a été retenue pour les carcasses de bovin, une température de 30°C (valeur moyenne à la surface estimée par dire d'experts).

La troisième consiste dans l'utilisation d'un modèle thermique de la température à la surface en fonction des conditions environnementales. Les modèles de cinétique de refroidissement des carcasses de porc établies par Kuitche, Daudin et Kondoyan (Daudin and Kuitche, 1996; Kondjoyan and Daudin, 1997; Kuitche et al., 1996) ont été utilisés. Ces modèles (validés par des mesures sur carcasses de porc) décrivent la température à différents points des carcasses en fonction de la température, de l'humidité et de la vitesse de l'air ambiant.

1.3.2.5 Valeurs cibles à respecter

Les temps de retard à l'entrée dans les chambres froides conduisent à un accroissement des flores microbiennes en surface des carcasses supérieur à celui observé pour des durées standards d'abattage. Il est proposé de considérer les temps d'arrêt de chaîne qui pourraient être autorisés à l'aide des accroissements maximum tolérable (AMT).

Il est proposé que la valeur d'AMT soit basée sur les résultats d'autocontrôles des entreprises et sur les critères microbiologiques d'hygiène des procédés du règlement CE n°2073/2005. Les entreprises ayant des résultats "éloignés" des valeurs *m* et *M* du critère d'hygiène des procédés auront une tolérance plus importante que celles dépassant régulièrement *m* et *M*.

Pour une entreprise, la valeur d'AMT se calcule de la manière suivante :

$$AMT = m - med_{auto}$$

m étant la valeur donnée du critère microbiologique d'hygiène des procédés pour le critère microbiologique d'hygiène des procédés considéré (flore aérobie ou Enterobacteriaceae) et *med_{auto}* est la valeur médiane des autocontrôles de l'entreprise pour cette flore

Un exemple est présenté ci-dessous (Figure 7). Si l'on fixe comme règle de décision que la médiane ne devrait pas dépasser la valeur *m*, on tolérera un accroissement de 0,5 log₁₀ dans l'abattoir E2 et de 1,2 log₁₀ dans l'abattoir E1.

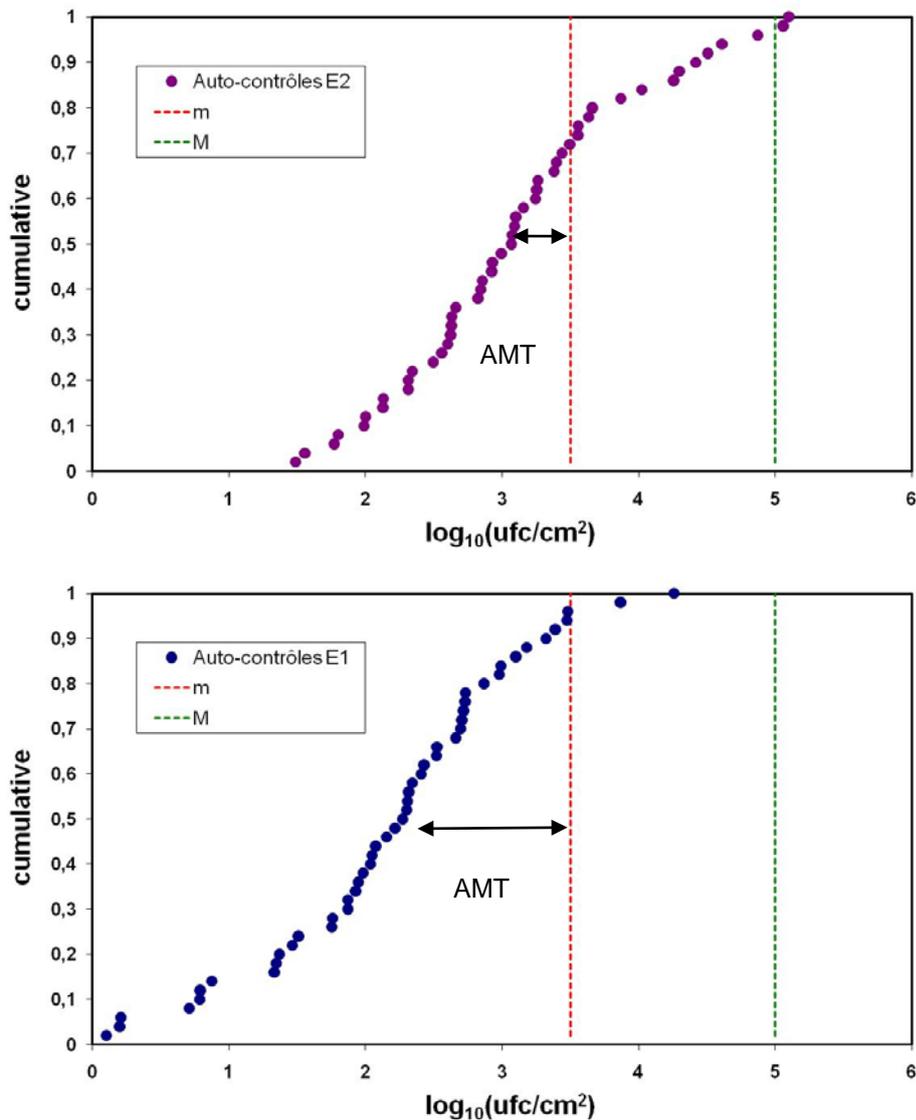


Figure 7. Distribution cumulative des résultats d'autocontrôles de deux entreprises pour la flore aérobie

NB : figures élaborées à partir de données fictives (ne tenant notamment pas compte du seuil de sensibilité des méthodes de laboratoire)

A l'aide des températures de surface (soit les cinétiques de température de refroidissement des carcasses de porc, et de la température constante choisie pour les bovins) et des modèles de croissance, il est possible de déterminer la durée au terme de laquelle la croissance bactérienne sera égale à la valeur d'AMT définie pour une entreprise. Un exemple est présenté sur la Figure 8.

1.3.3 Résultats obtenus

1.3.3.1 Cas des carcasses de porcs

Les modèles thermiques de Kuitche et Daudin (Daudin and Kuitche, 1996; Kuitche et al., 1996) ont été utilisés. La cinétique standard de température de surface des carcasses de porcs dans le hall d'abattage à 25°C (avec une HR à 50% et vitesse de l'air à 0,1 m/s) est donnée sur la Figure 8a.

Il est considéré que le délai entre le moment où les carcasses sont flambées et l'entrée en chambre froide est de 30 minutes. La croissance qui a lieu au-delà de ce délai est présentée sur la Figure 8.

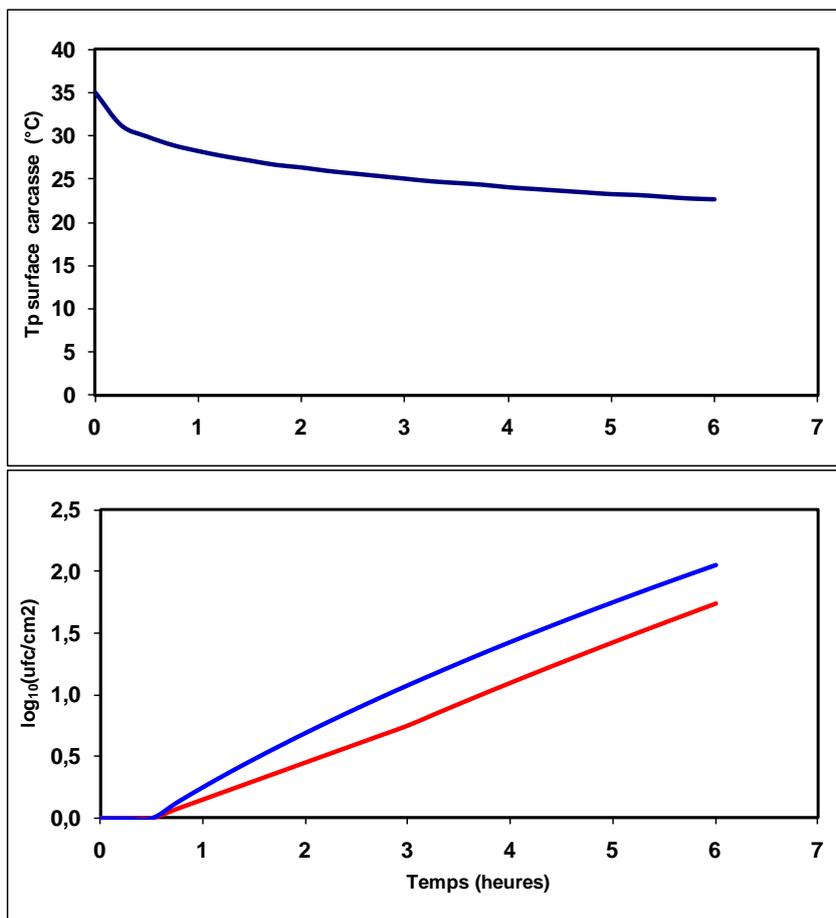


Figure 8. (a) Température simulée à la surface des carcasses de porcs. (b) croissance estimée des Enterobacteriaceae (—) et de la flore totale (—).

1.3.3.2 Cas des carcasses de bovins

Une démarche similaire à celle utilisée pour les carcasses de porcs est impossible en l'absence de modèle de simulation de la température de surface des carcasses de bovins. Il est considéré que la température est constante (30°C) à la surface des carcasses de bovins (Figure 9a). Ce choix est sécuritaire, la température à la surface des carcasses étant certainement en dessous de cette valeur.

Il est considéré que le délai entre le moment où les carcasses sont dépouillées et l'entrée en chambre froide est de 30 minutes. La croissance qui a lieu au-delà de ce délai est présentée sur la Figure 9b.

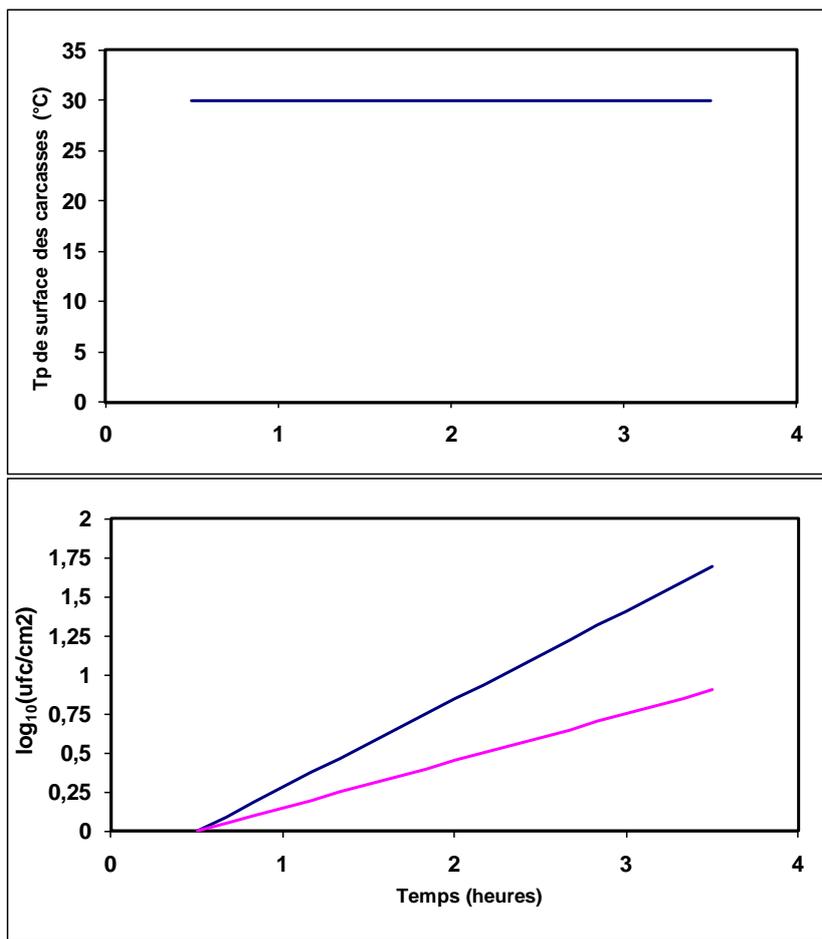


Figure 9. (a) Température utilisée pour apprécier la croissance à la surface des carcasses de bovins. (b) croissance estimée des Enterobacteriaceae (—) et de la flore totale (—).

1.3.3.3 Temps maximum toléré d'arrêt de chaîne d'abattage de bovins et porcins

Tableau 5. Temps maximum toléré (minutes) d'arrêt de chaîne d'abattage

Accroissement toléré (en $\log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$)	Temps maximum toléré d'arrêt de chaîne d'abattage pour les bovins (min)		Temps maximum toléré d'arrêt de chaîne d'abattage pour les porcins (min)	
	FAM	Enterobacteriaceae	FAM	Enterobacteriaceae
0	0	0	0	0
0,25	50	27	48	30
0,5	100	53	95	63
0,75	149	80	143	98
1	199	106	190	137
1,25	249	133	238	178
1,5	299	160	285	222
1,75	349	186	333	269
2	399	213	380	318

Exemple d'utilisation : une entreprise d'abattage de bovins a pour médiane de ses autocontrôles : $0,25 \log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$ pour les Enterobacteriaceae et $3 \log_{10}(\text{ufc}/\text{cm}^2)$ pour la flore totale. L'accroissement maximum toléré (AMT) pour les Enterobacteriaceae est de 1,25 ($m-med_{\text{auto}}$ soit 1,5-0,25) et $0,5 \log_{10}$ pour la flore aérobique mésophile ($m-med_{\text{auto}}$ soit 3,5-3,0). D'après le Tableau 5, deux temps d'arrêt de chaîne peuvent être lus : 100 minutes si l'on se base sur le résultat de la flore aérobique mésophile ou 133 minutes si l'on se base sur les Enterobacteriaceae. Le plus petit de ces deux temps doit être choisi.

Selon les entreprises et les résultats des autocontrôles le facteur limitant sera soit les Enterobacteriaceae, soit la flore totale.

1.3.4 Conclusion

Les tableaux ci-dessus peuvent être utilisés pour déterminer le temps maximum de retard accepté pour des carcasses à l'entrée en chambre froide. Il est à noter qu'ils ont été établis sur des hypothèses très sécuritaires de croissance (pas de dessèchement, pas de temps de latence des bactéries). Cette modélisation ne concerne que les bactéries indicatrices d'hygiène, et non les agents pathogènes.

Ces temps maximums d'arrêt de chaîne ne sauraient être une justification pour ne pas mettre en œuvre l'ensemble des moyens dont disposent les abatteurs pour réduire les délais à l'entrée en chambre froide.

Cette démarche et ses résultats revêtent un caractère provisoire compte tenu des informations actuellement disponibles. L'acquisition de données complémentaires et la transmission des résultats des autocontrôles permettraient de réviser ces valeurs. Ainsi, les données de l'interprofession sur les carcasses concernées par des retards avant l'entrée en chambre froide pourraient permettre la validation des valeurs proposées ci-dessus ou leur modification.

La démarche et les tableaux proposés pourraient être intégrés au guide de bonnes pratiques d'hygiène des professionnels.

1.4 Eviscération retardée

1.4.1 Questions posées

Des indicateurs permettant d'apprécier la qualité de la carcasse après un délai x d'éviscération retardée peuvent-ils être définis ?

1.4.2 Éléments de réponse

L'Arrêté du 17 mars 1992, article 15 indiquait : « L'éviscération doit être effectuée sans délai et terminée au plus tard quarante cinq minutes après l'étourdissement ou, en cas d'abattage imposé par un rite religieux, trente minutes après la saignée. »

L'Arrêté du 9 juin 2000 relatif à l'abattage des animaux de boucherie accidentés, article 4 précisait que : « Lorsque l'animal accidenté est abattu en tout autre lieu qu'un abattoir, la saignée et l'éviscération abdominale doivent être effectuées sous le contrôle d'un vétérinaire sanitaire immédiatement et rapidement. »

L'arrêté du 18 décembre 2009, article 10 (JORF du 29 décembre 2009) abroge les textes précédents. Le délai maximal accordé aux exploitants d'abattoir pour effectuer l'éviscération des animaux n'est donc plus défini réglementairement.

Les règlements du Paquet Hygiène et les textes pris pour son application ne mentionnent plus de délai concernant les opérations d'éviscération.

S'il est naturel et compréhensible de réaliser les opérations d'éviscération, pour les animaux de boucherie et de charcuterie, aussi rapidement que possible, afin d'éliminer les réservoirs microbiens et d'assurer une réfrigération des carcasses dans des conditions optimales de temps et d'efficacité, le problème peut se poser dans des conditions particulières de fonctionnement ou dans des filières spécifiques :

- les pannes de chaînes, les arrêts parfois prolongés (pauses, changements d'équipes, incidents et accidents, etc.) entraînent des interruptions parfois longues ;
- les pratiques d'éviscération différée, dans la filière « palmipèdes gras », visent à maintenir une meilleure intégrité des foies de volailles engraisées. Après refroidissement, ces foies ont acquis une fermeté qui les rend plus faciles à manipuler.
- les abattages d'urgence pour cause d'accident hors abattoir peuvent avoir pour conséquence la présentation à l'inspection de carcasses dont le délai entre la saignée et l'éviscération n'est pas connu.

Dans ce domaine, la bibliographie est à la fois pauvre et ancienne (Gill et al., 1976, 1978) : les données qu'elle contient sont incomplètes, fragmentaires et peu probantes.

Il semble toutefois qu'il ne faut pas confondre la diffusion passive de microorganismes à partir de la masse viscérale d'un animal mort, et le passage de microorganismes dans les nœuds lymphatiques puis dans d'autres tissus durant la vie de l'animal ou *peri-mortem*. Ce dernier phénomène, souvent appelé **translocation** dans la littérature scientifique, est mieux documenté au chapitre « Réalisation de recherches microbiologiques à cœur « cubes de viande » ».

Les deux publications de Gill *et al.* relatent des expérimentations sur des carcasses de cochons d'Inde, de souris et de moutons. L'inoculation de bactéries et de spores marquées au ¹⁴C dans des anses intestinales ligaturées maintenues dans une solution saline à température ambiante ne s'accompagne d'aucun passage de matériel radioactif dans le milieu. Par contre, suite à l'injection de suspensions de spores et de bactéries marquées dans l'intestin grêle de cobayes morts, on retrouve une radioactivité détectable dans diverses parties du cadavre, y compris les muscles du membre postérieur, le poumon, le foie, les nœuds lymphatiques et la rate, avec un maximum dans les quinze minutes qui suivent l'injection. Cette observation, reproduite sur 16 cadavres, semble ne pas dépendre du lieu d'injection (intestin grêle ou colon) ni du délai de conservation à température ambiante (4, 8, 16 ou 24 heures). La même observation a été effectuée en inoculant à des cadavres de cobayes une suspension de bactéries et spores fixés marqués au ¹⁴C et de bactéries vivantes (*Escherichia coli* et

Clostridium perfringens). Cependant, quoique les calculs théoriques aient montré que le taux de radioactivité correspondait, proportionnellement, à au moins 10^5 bactéries par gramme de muscle, les auteurs n'ont pas pu mettre en évidence de bactéries viables dans le muscle. L'administration de bactéries pathogènes, dans les mêmes conditions (*Salmonella* ser. Typhimurium) entraîne la contamination des nœuds lymphatiques et du foie de la moitié des carcasses d'animaux témoins, mais d'aucune carcasse issue d'animaux préalablement immunisés contre la souche. Les auteurs en déduisent la persistance de certains mécanismes immunitaires dans les heures qui suivent la mort d'un organisme. Les animaux semblent donc immunisés contre leur propre flore intestinale, mais sensibles à des souches inconnues, *a fortiori* lorsque celles-ci possèdent des facteurs agressifs particuliers. Il semble aussi que l'on observe rapidement après la mort, à partir de l'intestin, une diffusion de molécules issues de l'activité microbienne.

Dans la deuxième publication, les mêmes auteurs reprennent les principes de leur précédente expérimentation, et les résultats obtenus sont différents. Ils attribuent à des erreurs de manipulation les observations tendant à accréditer l'hypothèse d'une dissémination de microorganismes à partir du tube digestif après la mort, et observent qu'aucune contamination n'est détectable sur 68 moutons répartis en 3 lots : le premier (20 carcasses) abattu dans des conditions habituelles, le deuxième (18 carcasses) abattu après avoir fait subir aux animaux un effort violent attesté par l'épuisement du glycogène musculaire et un pH élevé du muscle après abattage, le troisième (30 animaux) abattu mais éviscéré seulement après un délai de 20 à 24 heures à température ambiante (20°C environ).

Il paraît peu prudent de déduire une quelconque tendance d'expérimentations aussi divergentes, malgré la véhémence des auteurs dans d'autres publications plus généralistes sur la microbiologie des viandes.

L'analogie avec la microbiologie de certaines viandes de gibiers peut être faite, mais sans pouvoir la poursuivre très avant. Le gros gibier chassé est, de façon classique, rapidement saigné, mais son éviscération peut être différée pour des raisons techniques. Le petit gibier à plumes est parfois faisandé, c'est-à-dire laissé intact pendant plusieurs jours à température fraîche. Mais l'évolution de la microbiologie de tels produits (Gill, 2007) est encore en grande partie mystérieuse.

Dans les abattoirs, les altérations liées à une éviscération tardive se manifestent au niveau du péritoine par une couleur terne, grisâtre ou gris brun, « plombée » de la séreuse péritonéale. Cette couleur anormale s'accompagne d'une odeur désagréable, stercoraire, que l'on met en relation avec la diffusion de gaz intestinaux. Un délai de plusieurs heures semble nécessaire pour que l'altération soit évidente. Souvent aussi, la présence d'une masse intestinale volumineuse occasionne un retard de refroidissement du muscle, qui peut évoluer vers un aspect « fiévreux » pâle, mou et anormalement humide, avec un pH musculaire inférieur aux valeurs habituelles.

Dans une synthèse datant de 1979 (Gill, 1979), l'auteur le plus véhément sur la question réaffirme la rareté, sinon l'inexistence d'un quelconque phénomène de bactériémie agonique ; il soutient que pendant au moins les seize heures qui suivent la mort, le tube digestif d'un animal maintient son étanchéité aux microorganismes qu'il contient, et souligne la persistance probable d'un effet bactéricide résiduel du sang. Il sollicite pour cela une bibliographie très ancienne, et attribue de façon à peu près systématique la découverte de microorganismes à l'intérieur des muscles à des biais expérimentaux.

1.4.3 Conclusion

Dans l'état actuel des connaissances, et vue la quasi-absence de données exploitables issues de la bibliographie, il paraît bien difficile d'asseoir, sur des bases scientifiques solides, un avis concernant les phénomènes d'éviscération tardive.

Il serait légitime de se diriger vers les recommandations suivantes :

- une éviscération effectuée sans retard indu ;
- la vérification de la présence, dans les guides des bonnes pratiques d'hygiène des professionnels, de mesures préventives de maintenance permettant d'éviter les pannes de chaîne de longue durée ;
- un délai de 60 minutes entre l'étourdissement (ou la saignée en cas d'abattage « rituel » sans étourdissement) et la fin des opérations d'habillage est d'ores et déjà en vigueur dans les abattoirs de bovins, en application d'un accord interprofessionnel. Ce délai devrait être modulé en cas de problème rencontré sur la chaîne, en fonction des performances hygiéniques de l'établissement. Celles-ci pourraient être estimées en exploitant les résultats des contrôles concernant la qualité

bactériologique de la surface des carcasses (voir partie « Evolution de la contamination de surface des carcasses »). Une démarche analogue pourrait être adoptée pour les autres espèces ;

- en cas de problème : la recherche d'anomalies d'aspect, de couleur et d'odeur au niveau de la séreuse péritonéale ou de toute autre partie de la carcasse. La découverte d'une telle anomalie devrait motiver le retrait des carcasses.

L'examen bactériologique des viandes en profondeur paraît peu utile dans de telles circonstances : une éventuelle contamination profonde se ferait à bas bruit, en limite de sensibilité des méthodes microbiologiques habituelles. Par ailleurs, le prélèvement « classique » (long anconé ou talon du tendon de tranche chez les bovins et les équidés) n'est sans doute pas pertinent. Mais en l'absence de toute expérimentation complémentaire, il n'est pas possible d'aller plus avant dans les recommandations.

2 Contaminations profondes des viandes

2.1 Entérite congestive

2.1.1 Contexte et questions posées

Quelles sont les règles de décisions à appliquer par les vétérinaires en cas d'entérites congestives avec lésions congestives du péritoine ? Une enquête à conduire au niveau national sur la réalité des pratiques (décision des vétérinaires⁴) en cas d'entérites congestives avec lésions congestives du péritoine doit elle être envisagée dans les abattoirs ? Quel type d'animaux faut-il privilégier ? Quelles questions poser ?

2.1.2 Eléments de réponse

2.1.2.1 Observations

Certains vétérinaires en charge de l'inspection dans les abattoirs d'animaux de boucherie (bovins), ont relaté à l'automne 2008 des cas inhabituels de couleur rose à rouge de segments de l'intestin grêle, sur une longueur d'environ 1 à 1,5 mètres, pouvant être associée à une coloration rose de la graisse mésentérique, chez des bovins de tous âges (adultes et veaux de lait) (cf. Illustration 1, Illustration 2). Le phénomène a été observé par quelques vétérinaires également sur des porcs.

Les conditions des inspections *ante mortem*, ainsi que les enquêtes réalisées auprès des propriétaires de ces animaux, n'ont pas mis en évidence de troubles pathologiques cliniques chez ces animaux.

Il n'a pas été trouvé dans la littérature de descriptions de ces lésions en relation avec une maladie connue ou certaines circonstances particulières d'abattage.

A l'ouverture de l'intestin, la muqueuse apparaît très rouge, et parfois « marbrée ».

A des degrés divers, d'autres lésions associées peuvent être observées : inflammation ganglionnaire, petites hémorragies dans la lumière intestinale et péritonite pariétale.

Ce problème apparu dans la Drôme à l'automne 2008 a occasionné plusieurs contestations de retrait par les professionnels à la suite des décisions prises par les services vétérinaires. Ce phénomène semble s'être arrêté spontanément pendant l'hiver. L'année suivante, ces lésions n'ont plus été observées.

Des analyses microbiologiques (nœuds lymphatiques et intestin) ont été réalisées lors du premier cas, mais n'ont pas mis en évidence d'agent infectieux bactérien particulier et les analyses histologiques (trois veaux) ont confirmé l'existence d'images inflammatoires accompagnées d'une forte éosinophilie, mais ne concernant que les structures internes de la paroi intestinale. L'hypothèse étiologique avancée par le laboratoire d'histopathologie est une affection parasitaire ou un trouble de nature allergique.

⁴ NB : La décision des vétérinaires est variable : dans certains cas des retraits totaux sont prononcés eu égard au risque de passage de microorganismes dans la circulation sanguine ou lymphatique. Dans d'autres cas, des retraits partiels peuvent éventuellement être réalisés au niveau du péritoine. Selon les services, l'évaluation d'une contamination susceptible de rendre ces carcasses dangereuses pour le consommateur est donc très différente et mal perçue par les professionnels de la filière.



Illustration 1 : Aspects macroscopiques externes de la masse intestinale et du mésentère : à droite : aspect normal ; à gauche : aspect anormal (couleur anormalement rosée à rouge)

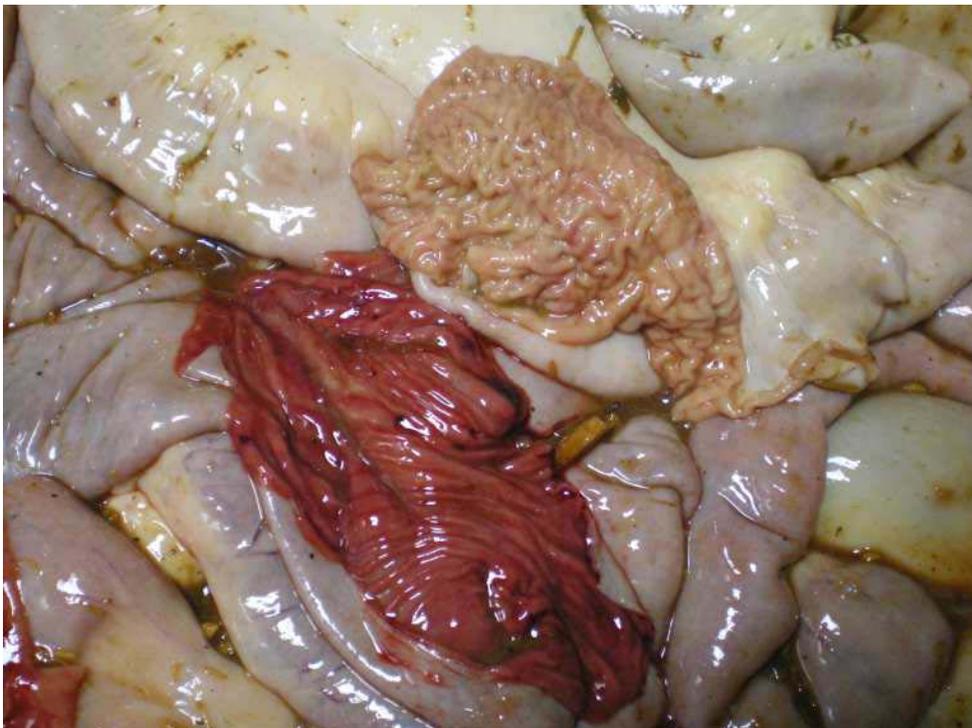


Illustration 2 : Aspects macroscopiques internes de l'intestin après ouverture : en haut : aspect normal de la muqueuse, en bas aspect congestionné de la muqueuse

2.1.2.2 Proposition de décision

Au regard de l'expérience vécue par certains experts du groupe de travail « Contaminations microbiologiques des viandes à l'abattoir » lors de ces épisodes particuliers (demande d'avis sur l'origine de ces lésions et aide à la prise de décision pour le vétérinaire), le schéma suivant peut être proposé :

- Lors d'observation d'une congestion de la muqueuse intestinale sans autre lésion associée des viscères et de la carcasse : pas de retrait total de la carcasse, mais un retrait partiel de l'intestin et du mésentère. On identifiera comme motif « congestion diffuse de l'intestin ».
- Dans tous les autres cas, c'est-à-dire lors de congestion de la muqueuse intestinale +/- congestion du mésentère +/- inflammation ou congestion ganglionnaire mésentérique +/- ulcérations et hémorragies intestinales +/- péritonite congestive: Il doit être prononcé un retrait total au motif « entérite congestive ».

2.1.2.3 Pertinence d'une enquête nationale

Des contacts pris avec d'autres vétérinaires travaillant en abattoirs n'ont pas permis d'évaluer l'importance de ce phénomène, ni en fréquence, ni en durée.

L'Anses estime donc qu'une enquête nationale sur la réalité des pratiques en cas d'entérite congestive avec lésions congestives du péritoine serait utile.

L'Agence se tiendra à la disposition de la DGAL pour évaluer l'ensemble du protocole proposé (animaux à contrôler, questions à poser, etc.).

2.2 Réalisation de recherches microbiologiques à cœur « cubes de viande »

2.2.1 Questions posées

Quelle est la pertinence des recherches microbiologiques à cœur des viandes menées par les inspecteurs pour conforter ou préciser leur décision⁵ : notamment la pertinence :

- de la réalisation du cube de viande – de son emplacement,
- des microorganismes recherchés : coliformes – anaérobies et aérobies mésophiles – salmonelles (circulaire du 30 juin 1970),
- des méthodes d'analyse employées,
- des cas dans lesquels cette analyse doit être faite,
- des critères d'interprétation des résultats obtenus.

Est-il opportun de conduire une enquête auprès des abattoirs et/ou des laboratoires pour connaître les résultats des analyses faites au regard des commémoratifs ?

2.2.2 Éléments de réponse

Très schématiquement, la contamination profonde des carcasses peut se produire dans trois circonstances : les septicémies, les bactériémies, et l'abattage avec des instruments malpropres.

Les **septicémies** se définissent comme des maladies résultant de l'envahissement du torrent circulatoire par des bactéries en multiplication. Ces états s'accompagnent de symptômes et de lésions. Elles sont donc habituellement détectables aux étapes d'inspection (*ante-* ou *post-mortem*). Elles motivent un retrait total, aux termes du règlement CE n°854/2004⁶.

Les **bactériémies** se définissent comme le passage de bactéries dans le torrent circulatoire sans multiplication. Le phénomène peut faire suite à l'invasion d'un organisme par un microorganisme pathogène (bactériémie tuberculeuse par exemple) ou être un événement occasionnel, conséquence d'un défaut de perméabilité de la barrière digestive.

L'abattage avec des instruments malpropres peut conduire à une contamination en profondeur de la carcasse, les microorganismes étant disséminés par la circulation sanguine résiduelle. Cette possibilité de dissémination a été confirmée en particulier chez le porc, espèce pour laquelle on ne pratique qu'une incision étroite pour réaliser la saignée. Dans le cas des bovins et des chevaux, il est courant d'employer comme méthode d'insensibilisation des animaux l'assommage au moyen d'un pistolet à cheville percutante. La cheville métallique qui est introduite dans la boîte crânienne représente une source de contamination lorsque son hygiène est défectueuse. Par ailleurs, cette cheville qui trépane la boîte crânienne provoque l'introduction d'une pastille de peau : la contamination est donc inéluçable.

La saignée peut représenter une opération contaminante, lorsque la lame du couteau utilisé est souillée, ou lorsque l'emplacement de l'incision pratiquée est sale. Le guide des bonnes pratiques d'hygiène concernant l'abattage des animaux doit intégrer ces données et fournir aux opérateurs les options de maîtrise pertinentes.

L'écologie microbienne digestive est encore en grande partie obscure. La quantité de microorganismes viables varie en fonction de multiples facteurs, en particulier le lieu où le prélèvement est effectué. Les parties proximales de l'appareil digestif (estomac, duodénum, jéjunum, iléon) hébergent

⁵ Leur décision :

- abattage d'urgence d'animaux à la ferme
- abattage d'animaux accidentés
- éviscération retardée
- divers cas où l'inspecteur juge cette analyse pertinente

⁶ 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

une flore peu abondante. Les pré-estomacs des ruminants et les parties distales (caecum, colon), dans toutes les espèces, abritent une flore riche et variée.

En théorie, les microorganismes sont confinés dans la lumière du tube digestif. La structure même de la paroi digestive, les mécanismes de défense qui s'y trouvent rassemblés assurent cette fonction essentielle.

Pourtant, il semble que l'imperméabilité de la paroi digestive soit une notion toute relative, et que le passage de microorganismes au travers de cette paroi soit un phénomène courant, banal, et même indispensable à l'entretien d'une immunité efficace vis à vis des microorganismes qui colonisent l'intestin ou qui y transitent.

Ce phénomène physio-pathologique a reçu le nom de *translocation*, terme proposé par (Wolochow et al., 1966), (Fuller and Jayne-Williams, 1970), (Berg and Garlington, 1979). Il fut longtemps contesté en raison des difficultés techniques de mise en évidence de faibles quantités de microorganismes dans différents tissus, et de nombreux auteurs ont attribué à des artefacts expérimentaux la découverte de contaminations profondes d'organes et/ou de muscles d'animaux de laboratoires ou d'animaux de boucherie. D'un autre côté, l'estimation de l'intensité d'une translocation par dénombrement des microorganismes viables dans les nœuds lymphatiques mésentériques est sans doute affectée d'une forte sous-estimation, car de nombreux microorganismes sont tués par les macrophages présents contre la barrière des entérocytes.

Quoique très important dans de nombreux domaines, dont celui de l'hygiène des viandes, le phénomène de translocation bactérienne reste en partie obscur. Plusieurs scénarios ont été proposés. Ils reposent sur des postulats solides, mais mériteraient d'être confirmés par des expérimentations rigoureuses. L'étude récente de (Wiest and Rath, 2003), centrée sur la pathologie humaine, résume la problématique mais ne peut être transposée en l'état à la médecine vétérinaire.

Quoique encore mal connus, les mécanismes de la translocation microbienne semblent comprendre, isolément ou en association :

- un déséquilibre microbien au niveau intestinal, avec prolifération anormale d'une espèce microbienne ;
- une altération de l'intégrité de la muqueuse intestinale ;
- un affaiblissement des défenses immunitaires de l'hôte.

La fonction barrière de la muqueuse digestive est assurée (Figure 10) par une couche unicellulaire de cellules épithéliales qui sépare la lumière digestive du milieu interstitiel.

Cet épithélium est constitué des entérocytes, cellules morphologiquement polarisées, qui présentent du côté de la lumière digestive la membrane apicale qui, en plus de son rôle plastique, assure des fonctions multiples, telles que la présentation d'enzymes ou de récepteurs. Cette membrane apicale représente la proportion la plus élevée de la surface de la muqueuse et elle peut offrir une voie de passage pour certaines bactéries (passage transcellulaire). L'autre partie de la surface de la muqueuse, plus réduite, est constituée des contours cellulaires qui s'affrontent entre cellules limitrophes. Ils sont dotés de complexes jonctionnels qui assurent l'étanchéité des espaces intercellulaires. Ces espaces sont des voies de passage potentielles. Ils sont maintenus dans un état de serrage qui fait barrière entre le milieu digestif et le milieu intérieur.

L'épithélium digestif est ainsi une structure d'importance primordiale pour empêcher l'envahissement de l'organisme par des microorganismes pathogènes ou agents de contamination des carcasses. La barrière ainsi constituée n'est cependant pas une barrière statique. Elle est susceptible de changer en fonction de situations physiologiques ou pathologiques.

NB : la barrière intestinale est considérée ici sous l'angle de l'opposition au passage de l'intestin vers le sang, assurant la protection de l'organisme vis-à-vis d'un envahissement par des agents microbiens venant de l'intestin. Elle joue aussi dans l'autre sens, protégeant l'organisme vis-à-vis d'une perte de substance en direction de la lumière intestinale, processus constaté dans les conditions pathologiques dont le meilleur exemple est celui des diarrhées.

A la périphérie des cellules et dans la région apicale, se trouvent les différentes structures cellulaires qui constituent ces complexes. De la partie apicale vers la région basale on distingue :

- la zonula occludens (jonction serrée)

- la zonula adhaerens (jonction intermédiaire)
- les macula adhaerens (desmosomes)
- les nexuses (gap junctions) (fonction de communication intercellulaire)

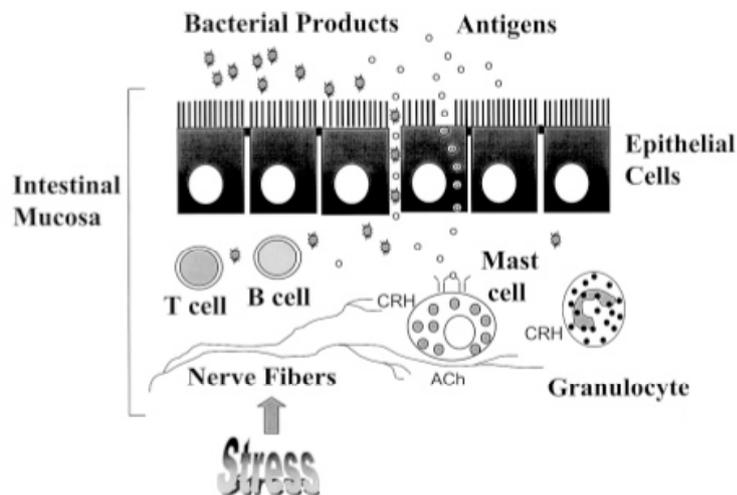


Figure 10 : Représentation schématique de l'influence du stress sur la perméabilité de la barrière digestive (in (Soderholm and Perdue, 2001))

La translocation bactérienne a été étudiée sur modèles animaux, et de nombreux facteurs d'agression ont été éprouvés.

Facteur d'agression	Modèle animal
Brûlures	Souris, porc
Choc hémorragique	Rat
Ischémie intestinale	Rat
Occlusion intestinale	Rat
Prolifération bactérienne	Rat
Atteintes hépatiques aiguës	Rat
Cirrhose du foie	Rat
Hypertension portale	Rat
Ictère	Rat
Pancréatite aiguë	Rat
Nutrition parentérale	Rat
Carence en protéines	Souris
Chirurgie intestinale	Rat
Chimiothérapie	Souris
Antibiotiques oraux	Souris
Infection à Clostridium difficile	Souris
Privation de sommeil	Rat
Faibles doses d'endotoxine	Souris

Déséquilibre microbien

Les bactéries qui résistent le mieux aux mécanismes de défense naturelle semblent être les espèces parasites endocellulaires facultatifs comme les salmonelles. Les bactéries résidentes habituelles de l'intestin semblent au contraire très facilement tuées lors d'une translocation. Les espèces bactériennes les plus fréquemment rencontrées dans les nœuds lymphatiques mésentériques appartiennent aux genres *Escherichia*, *Klebsiella*, autres *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Streptococcus*. Certaines souches posséderaient des facteurs génétiques facilitant la translocation et la survie, notamment des adhésines. La translocation des bactéries anaérobies a toujours semblé être un phénomène exceptionnel, quoique ces bactéries soient fortement dominantes dans les portions distales du tube digestif. Expérimentalement, ce phénomène n'est observé qu'en cas de dépression profonde du système immunitaire et/ou d'atteinte sévère de l'intégrité de la muqueuse. Plusieurs explications ont été avancées :

- une difficulté de mise en évidence, au laboratoire, des bactéries anaérobies strictes ;
- une destruction des bactéries par des substances fortement oxydantes issues des globules blancs ;
- une disparition de la flore anaérobie dans l'intestin. Habituellement, celle-ci tapisse la muqueuse et joue un rôle de barrière pour les autres flores, limitant leur implantation. En cas de déséquilibre, cette flore anaérobie disparaîtrait et permettrait la prolifération d'autres espèces, puis leur translocation.

Altération de l'intégrité de la muqueuse intestinale

Les mécanismes qui concourent à l'imperméabilité de la barrière digestive sont multiples. La sécrétion de mucus, l'acidité gastrique, les enzymes pancréatiques, la bile, la motilité gastro-intestinale en font partie.

Curieusement, l'épaisseur de la muqueuse semble ne jouer aucun rôle particulier.

La translocation se produit par voie trans-cellulaire (au travers des entérocytes, qui pour la plupart restent intacts) et par voie paracellulaire.

Rien n'est dit dans la littérature scientifique concernant les agressions et dommages physiques de la muqueuse intestinale, causés par des migrations parasitaires par exemple.

Affaiblissement des défenses immunitaires de l'hôte

Le tractus gastro-intestinal regroupe à lui seul plus de la moitié des cellules lymphoïdes d'un organisme. Le système immunitaire gastro-intestinal est en masse le plus important de l'organisme. Le phénomène de translocation à partir de la lumière du tube digestif contribue probablement à entretenir l'immunité locale vis à vis de la flore intestinale : il serait donc normal et même essentiel au maintien des fonctions vitales d'un organisme hébergeant une flore intestinale très variée. Toutes les causes possibles d'affaiblissement de l'immunité (traumatiques, humorales, médicamenteuses, infectieuses, etc.) peuvent favoriser la translocation microbienne et permettre aux bactéries de franchir les différentes barrières présentes (immunoglobulines, cellules macrophagiques, nœuds lymphatiques mésentériques). Dans les cas extrêmes, les bactéries peuvent remonter jusqu'au foie par la veine porte. Le foie joue un rôle très important d'épuration de la circulation. Lorsque des bactéries pyogènes et/ou toxigènes atteignent cet organe, elles peuvent provoquer l'apparition d'abcès hépatiques qui, lorsqu'ils sont visibles, ont un aspect assez caractéristique : les abcès pyléphlébitiques. Chez les bovins, un état d'acidose latente favorise l'apparition de ces lésions par altération et inflammation de la paroi digestive et par immunodépression (Brugère, 2005; Martin et al., 2006; Owens et al., 1998). Les bactéries qui franchissent la barrière hépatique sont disséminées dans tout l'organisme. Par ailleurs, les bactéries peuvent rejoindre la circulation sanguine par voie lymphatique.

Si la contamination des nœuds lymphatiques mésentériques est un phénomène banal, connu depuis longtemps et identifié comme source potentielle de pollution des viandes lors de l'inspection réglementaire des carcasses à l'abattoir, il semble que la contamination du foie soit moins fréquemment observée, et la pollution des muscles encore plus rare. Mais la discrétion du phénomène peut induire des difficultés de mise en évidence, le nombre de bactéries présentes (1 microorganisme/ 10 grammes ou moins) étant inférieur à la limite de sensibilité de la plupart des méthodes de bactériologie classiques. La **Figure 11** ci dessous schématise les différents scénarios pathogéniques.

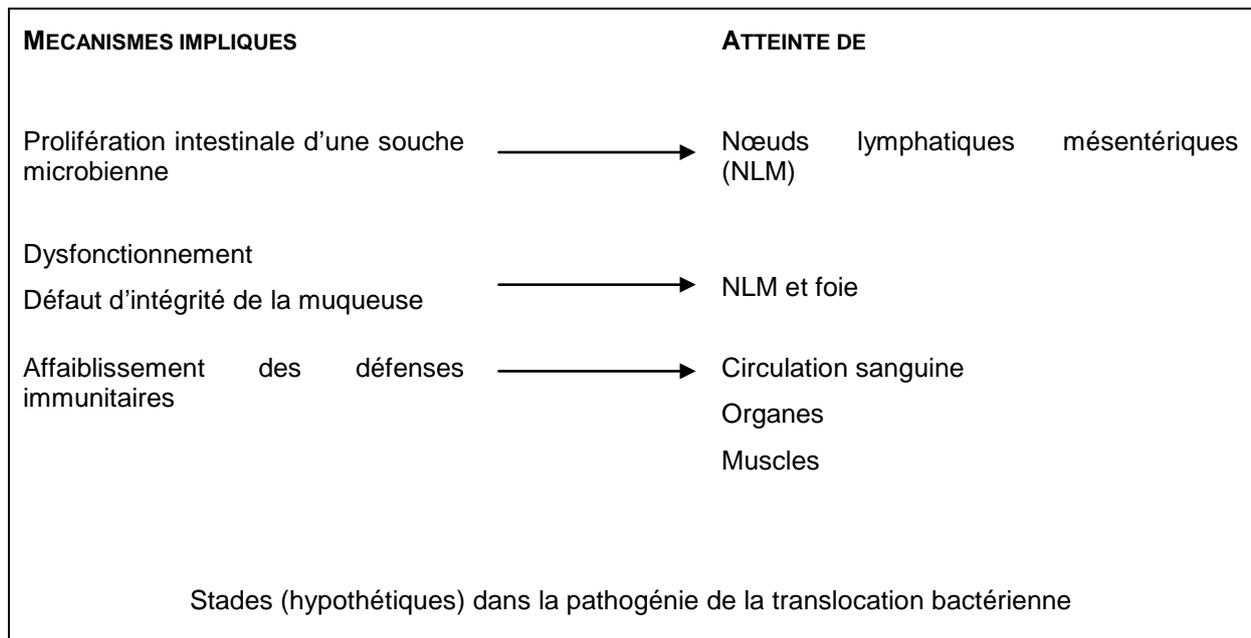


Figure 11 : Schématisation des différents scénarios pathogéniques

Dans la pratique de l'abattoir, les stress subis par les animaux avant leur abattage sont susceptibles d'induire ou d'amplifier un phénomène de translocation. Ces stress peuvent être de nature très diverse. Parmi les mieux documentés, les stress liés aux transports (Nabuurs et al., 2001; Seidler et al., 2001) même sur une courte distance, les stress liés à la température ; les stress métaboliques (Nazli et al., 2004) doivent être cités.

Recherches microbiologiques à cœur : prélèvement.

La littérature scientifique est très pauvre sur le sujet : le prélèvement pour analyse microbiologique, sa nature, ses modalités. Les pratiques encore actuellement en vigueur dans les abattoirs dérivent d'une ancienne méthode datant des années 1930. A cette époque, les inspecteurs d'abattoir envoyaient au laboratoire un cube de viande. Le laboratoire assainissait le prélèvement en surface en le trempant dans un bain de paraffine bouillante, puis dans un bain d'eau froide pour former une pellicule de paraffine isolante. Le « cube de viande paraffiné » était ensuite incubé dans une étuve à 37°C pendant 24 à 72 heures. A l'issue de ce délai, le cube était coupé en deux et on recherchait d'éventuelles odeurs et/ou colorations anormales.

Il est d'usage à l'heure actuelle de prélever un cube de viande de 10 cm d'arête, pris dans une masse musculaire homogène. Ainsi, le laboratoire destinataire pourra traiter le prélèvement facilement, en cautériser la surface et pratiquer au milieu de la surface ainsi assainie (en théorie) un puits où seront prélevées les prises d'essais nécessaires aux analyses, sans être gêné par des plans aponévrotiques qui contiennent parfois du tissu adipeux ou des vaisseaux sanguins. Pour ces raisons, le cube est habituellement sectionné dans le « talon du tendon de tranche » (partie postéro-interne du muscle droit interne), ou dans la « macreuse à bifteck » (muscle long anconé). Ces pratiques détériorent l'aspect des carcasses et entraînent une dépréciation notable en cas de commercialisation ultérieure.

Une étude de 1980 menée sur une trentaine de carcasses retirées du marché de Rungis comparait ces sites « classiques » de prélèvement avec les gites de devant ou de derrière prélevés sur les mêmes carcasses (Rozier et al., 1980). Outre la difficulté de traiter des échantillons aussi riches en collagène et en tendons, les résultats d'analyses n'ont montré aucune concordance entre les différents sites prélevés.

Les résultats de cette étude sont à prendre avec précaution : les conditions dans lesquelles cette étude a été menée ne sont pas celles rencontrées en pratique. Elle concerne un faible échantillonnage, et les méthodes analytiques ont évolué dans le sens d'une plus grande précision. Cependant, dans son principe, l'étude mériterait d'être reprise et étendue.

2.2.3 Conclusion

Si l'on suspecte une contamination d'origine externe (orifice de trépanation dans le cas d'une hygiène défectueuse de la tige du pistolet d'abattage ou plaie de saignée dans le cas d'une contamination par le couteau ou le trocart), les microorganismes éventuellement introduits seront entraînés par la circulation sanguine résiduelle et pourront être disséminés partout. La saignée n'étant jamais complète (on estime que 45 à 50 p. 100 du sang circulant reste dans les organes et les vaisseaux sanguins), la contamination sera diluée et répartie dans tous les organes et parties de la carcasse. Le lieu de prélèvement pourrait donc être choisi avec une liberté relativement grande. Cependant, des études, déjà anciennes, ont montré qu'en cas de contamination avérée (par utilisation, aujourd'hui proscrite, du jonc de saignée par exemple), les analyses microbiologiques de muscle s'avéraient presque systématiquement « stériles » (Gill, 1979; Mackey and Derrick, 1979). L'utilité d'un prélèvement de muscle se pose donc, compte tenu de son peu de sensibilité apparente.

Si l'hypothèse d'une bactériémie par translocation digestive est privilégiée, il faut tenir compte des mécanismes pathogéniques du phénomène : passage des microorganismes par voie lymphatique (nœuds lymphatiques mésentériques, atteinte de la circulation sanguine par le canal thoracique) ou sanguine (veine porte, foie, veine cave postérieure, petite puis grande circulation). Le choix du prélèvement se porterait sur un organe ou une partie de carcasse non directement placé sur la circulation de retour, et concernerait des organes desservis par la grande circulation ; rate, reins, nœuds lymphatiques préscapulaires. Mais ces hypothèses demandent à être validées.

Dans tous les cas, une évaluation correcte de cette contamination, quantitativement faible et qualitativement variée, renvoie vers une problématique statistique de mise en évidence d'événements rares.

La nature des microorganismes à rechercher devrait être laissée à l'appréciation du responsable de la décision de mise sur le marché du produit, en fonction d'une évaluation correcte de la situation.

Les bactéries les plus fréquemment retrouvées dans les analyses microbiologiques de cubes de viandes en profondeur sont des microcoques, des bactéries lactiques, des entérocoques, des entérobactéries, moins fréquemment des *Clostridium*. Mais cette énumération est vaine : de très nombreuses espèces microbiennes peuvent contaminer le muscle en profondeur, et les méthodes utilisées au laboratoire sont incapables de les mettre toutes en évidence. Le recours à des flores composites reste sans doute le moyen le moins mauvais d'évaluation, ainsi que le plus économique.

La relation entre les résultats d'une analyse bactériologique sur un prélèvement d'abattoir et le danger pour le consommateur n'est sans doute pas facile à établir, à moins de mettre en évidence une quantité appréciable de microorganismes reconnus pathogènes (salmonelles par exemple). Dans ce domaine également, aucune étude ne permet de tirer de conclusions nettes. Dans le cadre d'un prélèvement effectué à l'abattoir, le prélèvement pour analyse bactériologique (et recherche de substances à activité antimicrobienne) ne devrait être effectué que si les constatations anatomo-pathologiques ne permettent pas de conclure en première intention. Il est rappelé à ce propos l'attitude consensuelle préconisée par les enseignants d'hygiène des aliments des quatre écoles nationales vétérinaires, qui concerne des situations rencontrées assez fréquemment :

- retrait total en cas d'inflammation aiguë d'une séreuse (plèvre, péricarde, péritoine et ses annexes, méninges et articulations) ;
- retrait total en cas d'inflammation gangreneuse, quelles qu'en soient la taille et la localisation.

CONCLUSIONS - RECOMMANDATIONS

L'Agence nationale de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail conclut que, concernant les :

- **contaminations superficielles des viandes**

- Des données sont disponibles, permettant à ce jour l'élaboration de modèles mathématiques de modélisation de croissances microbiennes.
- Il serait souhaitable de générer des données scientifiques afin d'améliorer la fiabilité des modèles utilisés.
- Il est utile de rappeler l'intérêt et l'importance cruciale de l'application des bonnes pratiques d'hygiène au cours de l'abattage des animaux.
- Deux points s'avèrent fondamentaux au regard de la contamination potentielle de surface des viandes au cours du procédé d'abattage : la dépouille et l'éviscération. Malgré l'existence de procédés correctifs de réduction des contaminations dont l'efficacité reste somme toute limitée, une erreur d'hygiène à ces deux étapes entraîne un sur-risque important.
- Même si le Paquet Hygiène prévoit la possibilité de recourir à de telles pratiques de « décontamination » des carcasses, ces dernières ont une efficacité relative et ne devraient être utilisées que comme méthode supplémentaire mais accessoire aux bonnes pratiques d'hygiène.
- Une utilisation raisonnée de modes de réduction de la contamination microbienne superficielle des carcasses devrait être intégrée aux bonnes pratiques d'hygiène (traitement des zones de parfente, élimination des contaminations accidentelles de faible ampleur).
- Les carcasses ayant fait l'objet d'un accident d'éviscération même mineur, même traitées, ne devraient pas entrer dans la fabrication de produits sensibles de type viande hachée.
- Le séjour prolongé de carcasses en hall d'abattage doit demeurer un événement exceptionnel. La maintenance préventive de la chaîne est la clé de cette approche.
- Une exploitation rationnelle des résultats d'autocontrôles pourrait permettre de déterminer des délais de dépassement de manière exceptionnelle, ceci restant spécifique à chaque entreprise (aucune généralisation n'étant possible).

- **contaminations profondes des viandes**

- Les données sont rares et obsolètes, et des recherches bien ciblées (mentionnées dans le rapport) seraient nécessaires.
- Cependant, la possibilité d'une translocation bactérienne aboutissant à une contamination profonde des viandes est un phénomène connu dont les conséquences en santé publique sont difficiles à apprécier aujourd'hui.
- Compte tenu de l'efficacité douteuse d'une approche microbiologique classique, il serait utile de réfléchir à d'autres apports pour mettre en évidence des faibles signaux.

Tels sont les éléments d'analyse que l'Agence est en mesure de fournir en réponse à l'autosaisine relative aux contaminations microbiologiques des viandes à l'abattoir.

Le directeur général

Marc MORTUREUX

MOTS-CLES

ABATTOIRS, CONTAMINATIONS, VIANDES, DECONTAMINATION, MICROBIOLOGIE

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES TRAITEMENTS ASSAINISSANTS

- **Traitements assainissants des carcasses bovines, ovines et porcines**

Vers les années 1990, l'équipe de Phébus de l'Université Américaine du Kansas s'est intéressée à l'assainissement des carcasses bovines par la vapeur, en conditions réelles d'abattage (Phebus et al., 1996; Phebus et al., 1997). Les travaux conduits ont donné lieu à un dépôt de brevet, relatif à une cabine dite de « flash pasteurisation » (procédé SPS). En 1995, la FSIS approuve l'utilisation d'un tel système sur les chaînes d'abattage de bovins.

Ce procédé, situé en fin de chaîne d'abattage, est entièrement automatisé. Le traitement des carcasses s'effectue en trois temps :

- Dans un premier temps, la surface des carcasses est séchée par de l'air pressurisé. Cette opération a pour but d'accroître l'effet décontaminant de traitement vapeur qui sera ensuite appliqué. Dans les conditions d'abattage pratiquées aux Etats Unis, la nécessité de ce séchage est probablement amplifiée par le fait qu'en amont sur la chaîne les carcasses font généralement l'objet d'un doucheage.
- La seconde étape consiste à exposer la carcasse à de la vapeur sous-pression à 105°C pendant une durée de 6 à 8 secondes dans une enceinte totalement hermétique. La température en surface de la carcasse est portée instantanément à 91-94°C.
- Au cours de la troisième étape, la température superficielle de la carcasse est abaissée à une température inférieure à 20°C par aspersion d'eau glacée. La finalité première de ce refroidissement est d'éviter qu'une cuisson superficielle de la viande n'entraîne des altérations irréversibles de l'aspect des carcasses (couleur essentiellement).

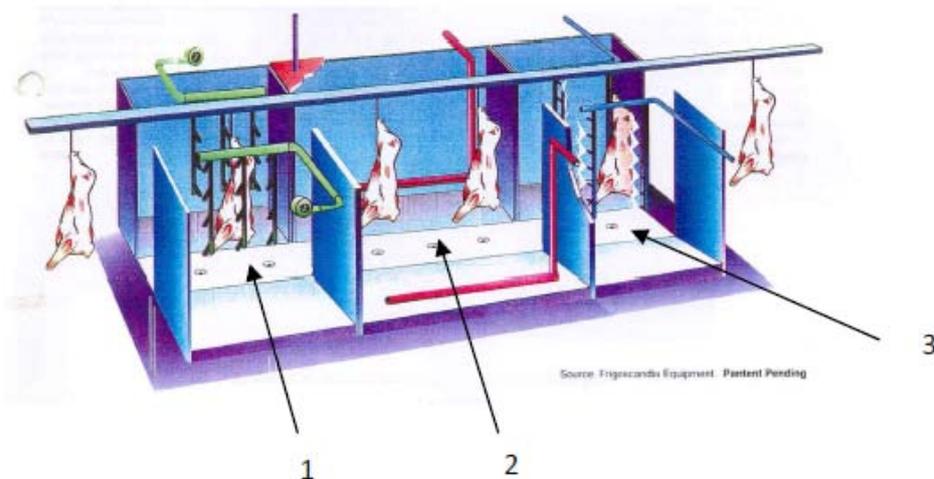


Illustration 3 : Principe de la cabine SPS, basé sur l'aspersion des carcasses par de la vapeur

1 : séchage de la carcasse (air sous pression)

2 : traitement vapeur (6-8 secondes)

3 : choc froid (aspersion d'eau glacée)

Les cabines de conception SPS ont été intégrées sur de nombreuses chaînes d'abattage américaines et canadiennes. Toutefois, à notre connaissance, il n'existe pas d'abattoir européen qui utilise cette technologie. Cela tient au fait que le concepteur et le distributeur du procédé n'aient pas jugé économiquement rentable la mise sur le marché d'un équipement compatible avec les spécificités des abattoirs européens (notamment en matière de cadence). En outre, ces dernières années, l'aspersion des carcasses par de la vapeur semble avoir été délaissée, au profit de systèmes de conception plus simple pour lesquels un effet assainissant des carcasses est recherché au travers d'un doucheage à l'eau chaude (cf. ci-après). Sur le plan réglementaire, l'aspersion des carcasses par de la vapeur a été jugée conforme au Règlement (CE) n°853/2004 (SCFCAH, 2009), moyennement le respect de différentes obligations qui seront rappelées en partie « Efficacité, avantages et inconvénients des différents modes de réduction de la contamination microbienne superficielle utilisés ».

Indépendamment du traitement en cabine de l'ensemble de la carcasse par de la vapeur, les équipementiers américains ont également proposé des appareils portatifs, toujours basés sur l'emploi de vapeur et permettant de traiter, manuellement, certaines régions anatomiques de la carcasse. La finalité première de ces équipements est d'éliminer les souillures visibles en surface des carcasses. Le principe mis en œuvre, appelé « steam vacuum » consiste à combiner 2 effets, à savoir l'aspiration mécanique des souillures et la destruction des microorganismes par un jet d'eau chaude ou de vapeur. Plusieurs publications destinées à évaluer les performances de la technologie « steam vacuum » ont été produites par les équipes américaines entre 1996 et 1998, notamment par celle de Dorsa (voir par exemple (Dorsa, 1997; Dorsa et al., 1996a; Dorsa et al., 1996b; Kochevar et al., 1997; Phebus et al., 1997)). Les travaux réalisés et les résultats obtenus (cf. ci-après) ont amené les autorités américaines à valider, en 1996, l'utilisation d'un tel matériel pour l'élimination des souillures visibles, en substitution du couteau (FSIS, 1996). Aujourd'hui, le recours au procédé « steam vacuum » figure dans tous les documents américains relatifs aux bonnes pratiques d'hygiène de l'abattage des bovins. Après 1996, les équipements de type « steam vacuum » apparaissent progressivement dans les réglementations de nombreux pays. Ce fut, par exemple, le cas en 1998 en Australie (AQIS, 1998).



Illustration 4 : Différents éléments du vapo vac



Illustration 5 : Détails de la tête de nettoyage

En ce qui concerne l'Europe, les Danois prennent en 2003 l'initiative d'inscrire ces traitements dans leur réglementation (DVFA, 2003). Cette position s'appuie sur les travaux de Steenberg et de ses collaborateurs qui seront publiés 2 ans plus tard (Steenberg et al., 2006; Steenberg et al., 2005). La question de l'utilisation du principe « steam vacuum » dans les abattoirs européens est en fait réellement posée en 2006 par le Canada qui demande à la Communauté Européenne de se positionner vis à vis de cette technologie. Il s'en suivra, sous l'initiative de la France, un certain nombre d'échanges entre les états membres pour aboutir, en février 2009, à une reconnaissance de cette technique au niveau communautaire (SCFCAH, 2009), moyennement là encore le respect de certaines obligations (cf. partie « Efficacité, avantages et inconvénients des différents modes de réduction de la contamination microbienne superficielle utilisés »).

L'utilisation d'eau chaude, sous forme de douchage en cabine a également fait l'objet de nombreuses investigations. Si les abatteurs font largement appel à cette technique, y compris en Europe, il existe une grande variabilité tant au niveau de la conception et qu'à celui des modalités d'utilisation de ces cabines. Cette observation est sans doute à relier à la forte variabilité, relevée dans la littérature, quant à l'impact d'un douchage à l'eau chaude sur la flore superficielle des carcasses. Sur le plan réglementaire, l'avis de l'agence européenne a été sollicité afin de définir les conditions dans lesquelles ce douchage peut être mis en œuvre.



Illustration 6 : Vue d'ensemble d'une cabine de douchage des carcasses



Illustration 7 : Exemple de disposition des buses à l'intérieur d'une cabine de douchage

- **Traitements assainissants des carcasses de volailles**

Différents essais de décontamination ont été réalisés sur des volailles à l'aide de vapeur à pression atmosphérique (Avens et al., 2002; James et al., 2000). Les températures appliquées varient entre 92 et 100°C et les durées de traitement varient selon les systèmes testés (de quelques secondes à plusieurs minutes). Les températures de surface des carcasses atteignent des valeurs de l'ordre de 95°C et les niveaux de décontamination varient de plus d'un log à plusieurs \log_{10}/cm^2 en fonction du temps d'exposition

L'INRA a mis au point un nouveau procédé d'assainissement thermique des carcasses de volailles, basé sur l'utilisation de jets de vapeur surchauffée à pression atmosphérique⁷. Les essais menés par l'INRA montrent que la technique permet de diminuer la contamination initiale en micro-organismes d'au moins $3 \log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$. La technologie serait applicable aux cadences industrielles.

Ce procédé (Purnell et al., 2005) a été appliqué avec une pression de 2.10^5 Pa, permettant ainsi d'atteindre une température de condensation de 120°C. La flore aérobie mésophile est diminuée de $1.8 \log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$, ce qui correspond au niveau d'efficacité des procédés vapeur sous basse pression.

Des essais d'assainissement par immersion dans l'eau chaude (85-95° C) ont été effectués. Lors de ces essais, les temps d'immersion peuvent varier entre 30 secondes et plusieurs minutes (Whyte et al., 2003). L'efficacité du procédé a été démontrée sur la flore aérobie mésophile et sur *Campylobacter jejuni*. Les taux de réduction obtenus varient en fonction de la durée d'exposition et sont compris entre 1 et $3 \log_{10}(\text{ufc})/\text{cm}^2$; La température du bain est un élément important de maîtrise du procédé. A des températures trop basses, l'efficacité peut non seulement être diminuée, mais des transferts de contaminations peuvent apparaître.

⁷ Brevet français déposé le 14 novembre 2005 sous le n°05 53451

ANNEXE 2 : DONNEES COMPLEMENTAIRES RELATIVES A LA TRANSLOCATION BACTERIENNE

Le passage de bactéries de la lumière digestive, en particulier intestinale, à la circulation systémique est une question qui concerne des domaines aussi divers que la physiopathologie des infections survenant à partir de la voie digestive (par exemple, salmonelloses), l'immunisation vis-à-vis d'antigènes intestinaux, la physiopathologie du choc septique et, pour un tout autre domaine, la contamination des carcasses destinées à la consommation.

Il est, certes, facilement concevable que lors de prolifération bactérienne massive, avec inflammation de la paroi intestinale, avec éventuellement des lésions de la muqueuse, des agents pathogènes puissent facilement gagner la circulation. Il est en revanche plus difficilement concevable qu'en présence d'un milieu digestif normal, des facteurs externes à l'intestin, par exemple des facteurs de nature psychique puissent favoriser ou déclencher ce passage.

Structure de la barrière intestinale

Épithélium intestinal

Le terme de "barrière intestinale" est utilisé de longue date pour désigner la fonction qui permet de protéger l'organisme, dont les organes sont stériles sinon paucimicrobiens, de l'envahissement par des agents microbiens présents à haute concentration dans le tube digestif. Cette fonction de protection, dite fonction barrière, est assurée par un dispositif d'une grande simplicité: l'épithélium intestinal.

L'épithélium intestinal est constitué d'une couche monocellulaire d'entérocytes appuyés sur une base. La nature des moyens de fixation de cellule à cellule, normalement fortement reliées les unes aux autres, permet de qualifier ce revêtement du nom d' "épithélium serré". Ce caractère explique qu'en dépit de la simplicité de la structure, ce revêtement soit capable d'assurer la protection de l'organisme vis-à-vis des microorganismes intestinaux.

Jonctions intercellulaires

La cohésion des entérocytes qui est le gage du caractère serré de la barrière n'est pas un phénomène passif et invariant. Bien au contraire, cette cohésion peut-être modulée par une foule de facteurs endogènes ou exogènes. Les fonctions dépendantes des variations du degré de serrage de l'épithélium concernent

- avant tout, les fonctions digestives de l'épithélium, dont certaines, comme l'absorption de l'eau et de certains minéraux ne sont possibles que par le maintien d'un serrage marqué entre les cellules,
- dans le cas de la pathologie digestive, la possibilité de laisser passer, en plus des molécules, des éléments figurés (cellules sanguines ou inflammatoires, agents pathogènes),

Les mécanismes responsables des variations du serrage des cellules entre-elles sont

- des modifications des dispositifs de liaison entre cellules, qui peuvent donner lieu à relâchement et à un élargissement des espaces intercellulaires,
- l'activation du cytosquelette des entérocytes, susceptible de produire un resserrement de la cellule, permettant un élargissement des espaces intercellulaires. Le support de cette activité contractile est un anneau d'acto-myosine qui se trouve être la cible de nombreux agents de signalisation intracellulaire.

La modulation du serrage des liaisons intercellulaires explique que, normalement serrés, les espaces intercellulaires puissent s'ouvrir et permettre un passage dit "paracellulaire". De nombreux facteurs peuvent interagir sur ces éléments, et de ce fait on peut parler de "contrôle" de la fonction barrière.

Voie transcellulaire, pinocytose

Si les espaces extracellulaires offrent une explication au passage d'éléments figurés à travers la barrière intestinale, on ne perdra pas de vue que des germes peuvent passer à travers les cellules (passage transcellulaire) par des mécanismes de pinocytose ou par des mécanismes similaires. De telles migrations supposent une communication entre les microorganismes concernés et des éléments figu-

rés de la paroi intestinale, situés dans la sous-muqueuse. Cette communication repose sur des facteurs chimiques, en particulier des interleukines.

Un cas particulier de translocation est celui du passage par les follicules des plaques de Peyer, dont la fonction majeure est de présenter les antigènes venant de la lumière intestinale à des cellules immunocompétentes, mécanisme de base de l'établissement d'une immunité vis-à-vis des antigènes apportés par la voie digestive.

Translocation paracellulaire

La voie de passage transcellulaire résulte de ce que les éléments qui constituent la barrière digestive sont susceptibles de moduler leur action en réponse à diverses stimulations.

Modifications de la perméabilité intestinale, mécanismes

L'étude des situations ou des stimuli susceptibles de modifier le degré de serrage entre cellules a été faite essentiellement en suivant les modifications de la perméabilité de la muqueuse.

La perméabilité concerne la possibilité que des molécules de taille croissante puissent franchir la muqueuse par la voie paracellulaire. Cette perméabilité est appréciée en apportant par voie orale des molécules de taille connue et en recherchant leur présence dans le sang. Les molécules choisies comme traceurs sont habituellement des sucres, physiologiques ou non, dont le poids moléculaire et les caractéristiques de digestion ou d'absorption sont bien connues. Les tailles moléculaires sont différentes, et pour obtenir des traceurs de poids moléculaire élevé, il est fait appel à la famille des dex-trans qui offrent de vastes possibilités de choix.

Ainsi, il a été établi que les facteurs suivants peuvent accroître la perméabilité de l'épithélium intestinal (données d'études faites chez l'Homme et chez l'animal de laboratoire) :

- stress psychologique (Soderholm and Perdue, 2001)
- stress physique (coureurs de Marathon, (Smetanka et al., 1999))
- la contrainte et la contrainte au froid accroissent la perméabilité intestinale (Saunders et al., 1994)
- hyperthermie (Lambert et al., 2002)
- endotoxines (LPS) (Salzman et al., 1994)
- acidose la muqueuse intestinale (Salzman et al., 1994)
- brûlures (Deitch, 1990)

Les principaux intermédiaires de ces actions sont :

CRH

Le CRH est une hormone hypothalamique contrôlant l'axe hypophyso-cortico-surrénalien. Mais le CRH reconnaît aussi d'autres origines, et il est aussi présent à la périphérie. Ainsi des actions telles que celles qu'il exerce sur l'intestin sont à mettre au compte d'une libération locale.

le CRH produit des effets semblables à ceux du stress de contrainte. Les deux sont inhibés par l'antagoniste des Récepteurs de CRH (le 9-41 helical CRH) (Santos et al., 1999) ;

l'antagoniste de CRH (le 9-41 helical CRH) inhibe les anomalies de la perméabilité intestinale induites par les stress physique et psychologique (Saunders et al., 2002)

Mastocytes

Les mastocytes sont ubiquitaires dans l'organisme, souvent périvasculaires et près de neurones. Leur intervention résulte des interactions qu'ils ont avec le système nerveux.

Les relations entre système nerveux et mastocytes sont impliquées dans différentes situations pathologiques comportant l'inflammation (côlon irritable (Bauer and Razin, 2000)).

Les mastocytes apparaissent être les relais des actions induites par CRH (Wallon et al., 2008). Chez le porcelet, les troubles digestifs (diarrhée) survenant lors du sevrage comportent une participation de CRH dont les effets sont bloqués par l'alpha-helical CRH(9-41) (Moeser et al., 2007a). Dans cette

situation, les mastocytes sont aussi impliqués car les perturbations de la barrière intestinale sont prévenues par le chromoglycate (Moeser et al., 2007b).

De l'accroissement de la perméabilité à la translocation

La différence de dimensions des espaces accessibles à des marqueurs de perméabilité tels que les dextrans et les bactéries n'autorisent pas à établir, par simple déduction, une relation de cause à effet entre accroissement de la perméabilité et translocation bactérienne.

La constatation d'une corrélation entre la sévérité d'un état dysfonction multi-organique⁸ et la perméabilité intestinale, suggère que l'accroissement de perméabilité soit un élément de la physiopathologie de ces états, d'autant que cet accroissement a été noté comme survenant avant la dysfonction multi-organique (Doig et al., 1998).

⁸ traduction de l'anglo-américain *Multi-organ Failure*, apparemment sans équivalent français "officiel". Cette situation est proche de la situation de choc septique, dont elle peut être une conséquence

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afssa 2007a. Appréciation quantitative des risques liés à *Escherichia coli* O157:H7 dans les steaks hachés surgelés consommés en restauration familiale en France par les enfants de moins de 16 ans.
- Afssa 2007b. Avis du 19 juin 2007 relatif aux méthodes alternatives à la décontamination chimique des carcasses d'animaux destinés à la consommation humaine (en réponse à la saisine 2006-SA-0261).
- Afssa 2008. *Escherichia coli* entérohémorragiques (EHEC).
- Antic, D., Blagojevic, B., Ducic, M., Mitrovic, R., Nastasijevic, I., Buncic, S., 2010, Treatment of cattle hides with Shellac-in-ethanol solution to reduce bacterial transferability - A preliminary study. *Meat Science* 85, 77-81.
- AQIS 1998. Steam vacuum equipment (AQIS Notice Meat: 98/1).
- 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., 2004, *Escherichia coli* O157 prevalence and enumeration of aerobic bacteria, Enterobacteriaceae, and *Escherichia coli* O157 at various steps in commercial beef processing plants. *Journal of Food Protection* 67, 658-665.
- Arthur, T.M., Keen, J.E., Bosilevac, J.M., Brichta-Harhay, D.M., Kalchayanand, N., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Nou, X., Koohmaraie, M., 2009, Longitudinal study of *Escherichia coli* O157:H7 in a beef cattle feedlot and role of high-level shedders in hide contamination. *Applied and Environmental Microbiology* 75, 6515-6523.
- Avens, J.S., Albright, S.N., Morton, A.S., Prewitt, B.E., Kendall, P.A., Sofos, J.N., 2002, Destruction of microorganisms on chicken carcasses by steam and boiling water immersion. *Food Control* 13, 445-450.
- Bacon, R.T., Belk, K.E., Sofos, J.N., Smith, G.C., 2000. Incidence of *Escherichia coli* O157:H7 on hide, carcass and beef trimmings samples collected from United States packing plants. In: FSIS public meeting on *E. coli* O157:H7, Arlington, VA.
- Barkate, M.L., Acuff, G.R., Lucia, L.M., Hale, D.S., 1993, Hot water decontamination of beef carcasses for reduction of initial bacterial numbers. *Meat Science* 35, 397-401.
- Bauer, O., Razin, E., 2000, Mast cell-nerve interactions. *News in Physiological Sciences* 15, 213-218.
- Bell, R.G., 1997, Distribution and sources of microbial contamination on beef carcasses. *Journal of Applied Microbiology* 82, 292-300.
- Berg, R.D., Garlington, A.W., 1979, Translocation of certain indigenous bacteria from the gastrointestinal tract to the mesenteric lymph nodes and other organs in a gnotobiotic mouse model. *Infection and Immunity* 23, 403-411.
- Blanco, J., Blanco, M., Blanco, J.E., Mora, A., Gonzalez, E.A., Bernardez, M.I., Alonso, M.P., Coira, A., Rodriguez, A., Rey, J., Alonso, J.M., Usera, M.A., 2003, Verotoxin-producing *Escherichia coli* in Spain: Prevalence, serotypes, and virulence genes of O157:H7 and non-O157 VTEC in ruminants, raw beef products, and humans. *Experimental Biology and Medicine* 228, 345-351.
- Bohaychuk, V.M., Checkley, S.L., Gensler, G.E., Barrios, P.R., 2009, Microbiological baseline study of poultry slaughtered in provincially inspected abattoirs in Alberta, Canada. *Canadian Veterinary Journal* 50, 173-178.

- Boqvist, S., Aspan, A., Eriksson, E., 2009, Prevalence of verotoxigenic *Escherichia coli* O157:H7 in fecal and ear samples from slaughtered cattle in Sweden. *Journal of Food Protection* 72, 1709-1712.
- Brichta-Harhay, D.M., Arthur, T.M., Bosilevac, J.M., Guerini, M.N., Kalchayanand, N., Koohmaraie, M., 2007, Enumeration of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef, cattle carcass, hide and faecal samples using direct plating methods. *Journal of Applied Microbiology* 103, 1657-1668.
- Brichta-Harhay, D.M., Guerini, M.N., Arthur, T.M., Bosilevac, J.M., Kalchayanand, N., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., 2008, *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 contamination on hides and carcasses of cull cattle presented for slaughter in the United States: An evaluation of prevalence and bacterial loads by immunomagnetic separation and direct plating methods. *Applied and Environmental Microbiology* 74, 6289-6297.
- Brugère, H., 2005, L'acidose du rumen, un syndrome multiforme; le problème de l'acidose latente. 1 fascic., 31.
- Calicioglu, M., Kaspar, C.W., Buege, D.R., Luchansky, J.B., 2002, Effectiveness of spraying with tween 20 and lactic acid in decontaminating inoculated *Escherichia coli* O157:H7 and indigenous *Escherichia coli* biotype I on beef. *Journal of Food Protection* 65, 26-32.
- Cartier, P., Allais, L., Malayrat, C. 2010. Communication aux 13èmes Journées Science du Muscle et Technologie de la Viande (JSMTV) (Clermont Ferrand (France)).
- Cassin, M.H., Lammerding, A.M., Todd, E.C., Ross, W., McColl, R.S., 1998, Quantitative risk assessment for *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef hamburgers. *International Journal of Food Microbiology* 41, 21-44.
- Castillo, A., Lucia, L.M., Goodson, K.J., Savell, J.W., Acuff, G.R., 1998, Comparison of water wash, trimming, and combined hot water and lactic acid treatments for reducing bacteria of fecal origin on beef carcasses. *Journal of Food Protection* 61, 823-828.
- Cummins, E., Nally, P., Butler, F., Duffy, G., O'Brien, S., 2008, Development and validation of a probabilistic second-order exposure assessment model for *Escherichia coli* O157:H7 contamination of beef trimmings from Irish meat plants. *Meat Science* 79, 139-154.
- Daudin, J.D., Kuitche, A., 1996, Modelling of temperature and weight loss kinetics during meat chilling for time variable conditions using an analytical based method - III. Calculations versus measurements on pork carcass hindquarters. *Journal of Food Engineering* 29, 39-62.
- Deitch, E.A., 1990, Intestinal permeability is increased in burn patients shortly after injury. *Surgery* 107, 411-416.
- Delignette-Muller, M.L., Cornu, M., 2008, Quantitative risk assessment for *Escherichia coli* O157:H7 in frozen ground beef patties consumed by young children in French households. *International Journal of Food Microbiology* 128, 158-164.
- Doig, C.J., Sutherland, L.R., Sandham, J.D., Fick, G.H., Verhoef, M., Meddings, J.B., 1998, Increased intestinal permeability is associated with the development of multiple organ dysfunction syndrome in critically ill ICU patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 158, 444-451.
- Dorsa, W.J., 1997, New and established carcass decontamination procedures commonly used in the beef-processing industry. *Journal of Food Protection* 60, 1146-1151.
- Dorsa, W.J., Cutter, C.N., Siragusa, G.R., 1996a, Effectiveness of a steam-vacuum sanitizer for reducing *Escherichia coli* O157 : H7 inoculated to beef carcass surface tissue. *Letters in Applied Microbiology* 23, 61-63.
- Dorsa, W.J., Cutter, C.N., Siragusa, G.R., 1997, Effects of steam-vacuuming and hot water spray wash on the microflora of refrigerated beef carcass surface tissue inoculated with *Escherichia*

- coli O157:H7, *Listeria innocua*, and *Clostridium sporogenes*. *Journal of Food Protection* 60, 114-119.
- Dorsa, W.J., Cutter, C.N., Siragusa, G.R., Koohmaraie, M., 1996b, Microbial decontamination of beef and sheep carcasses by steam, hot water spray washes, and a steam-vacuum sanitizer. *Journal of Food Protection* 59, 127-135.
- Duffy, G., Cummins, E., Nally, P., O' Brien, S., Butler, F., 2006, A review of quantitative microbial risk assessment in the management of *Escherichia coli* O157:H7 on beef. *Meat Science* 74, 76-88.
- DVFA 2003. Permission to use the Steam Vacuum system at cattle abattoirs, Journal no. 2002-20-29-00202.
- Ebel, E., Schlosser, W., Kause, J., Orloski, K., Roberts, T., Narrod, C., Malcolm, S., Coleman, M., Powell, M., 2004, Draft risk assessment of the public health impact of *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef. *Journal of Food Protection* 67, 1991-1999.
- EFSA, 2010, Guidance on Revision of the joint AFC/BIOHAZ guidance document on the submission of data for the evaluation of the safety and efficacy of substances for the removal of microbial surface contamination of foods of animal origin intended for human consumption. Available online: www.efsa.europa.eu. *EFSA Journal* 8, 32pp.
- Elmossalami, E., Wassef, N., 1971, Penetration of some microorganisms in meat. *Zentralblatt fur Veterinarmedizin. Reihe B. Journal of veterinary medicine. Series B* 18, 329-336.
- Erickson, M.C., Doyle, M.P., 2007, Food as a vehicle for transmission of Shiga Toxin–Producing *Escherichia coli*. *Journal of Food Protection* 70, 2426-2449.
- Euzéby, J.P., 2007, Dictionnaire de bactériologie vétérinaire <http://bacdico.net>.
- FAO 2008. Report of a joint FAO/WHO Expert Meeting on the benefits and risks of the use of chlorine-containing disinfectants in food production and food processing (Ann Arbor (USA)).
- Fosse, J., Seegers, H., Magras, C., 2008, Hiérarchiser les risques de zoonoses alimentaire : Une approche quantitative Application aux dangers bactériens transmis par les viandes porcine et bovine. Prioritising the risk of foodborne zoonoses using a quantitative approach: application to foodborne bacterial hazards in pork and beef 27, 643-655.
- Fournaud, J., Degas, T., Schmitt, O., Sechet, J., 1980. Penetration of bacteria into meat. In: *Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers*, pp. 268-271.
- FSIS 1996. Pathogen Reduction; Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) Systems; Final Rule. CFR, Parts 304, Fed.Regist. 61, 38,805-38,989. In 9, Service, U.S.D.o.A.-F.S.a., ed.
- Fuller, R., Jayne-Williams, D.J., 1970, Resistance of the fowl (*Gallus domesticus*) to invasion by its intestinal flora. II. Clearance of translocated intestinal bacteria. *Research in Veterinary Science* 11, 368-374.
- Ghafir, Y., China, B., Dierick, K., De Zutter, L., Daube, G., 2008, Hygiene indicator microorganisms for selected pathogens on beef, pork, and poultry meats in Belgium. *Journal of Food Protection* 71, 35-45.
- Gill, C.O., 1979, Intrinsic bacteria in meat. *Journal of Applied Bacteriology* 47, 367-378.
- Gill, C.O., 2007, Microbiological conditions of meats from large game animals and birds. *Meat Science* 77, 149-160.
- Gill, C.O., 2009, Effects on the microbiological condition of product of decontaminating treatments routinely applied to carcasses at beef packing plants. *Journal of Food Protection* 72, 1790-1801.
- Gill, C.O., Bryant, J., 1993, The presence of *Escherichia coli*, *Salmonella* and *Campylobacter* in pig carcass dehairing equipment. *Food Microbiology* 10, 337-344.

- Gill, C.O., Bryant, J., 1997, Assessment of the hygienic performances of two beef carcass cooling processes from product temperature history data or enumeration of bacteria on carcass surfaces. *Food Microbiology* 14, 593-602.
- Gill, C.O., Dussault, F., Holley, R.A., Houde, A., Jones, T., Rheault, N., Rosales, A., Quessy, S., 2000, Evaluation of the hygienic performances of the processes for cleaning, dressing and cooling pig carcasses at eight packing plants. *Int. J. Food Microbiol.* 58, 65-72.
- Gill, C.O., Harrison, J.C.L., Phillips, D.M., 1991, Use of a temperature function integration technique to assess the hygienic adequacy of a beef carcass cooling process. *Food Microbiology* 8, 83-94.
- Gill, C.O., Jones, T., 1992, Assessment of the hygienic efficiencies of two commercial processes for cooling pig carcass. *Food Microbiology* 9, 335-343.
- Gill, C.O., Jones, T., 1997, Assessment of the hygienic performances of an air-cooling process for lamb carcasses and a spray-cooling process for pig carcasses. *Int. J. Food Microbiol.* 38, 85-93.
- Gill, C.O., Landers, C., 2003, Effects of spray-cooling processes on the microbiological conditions of decontaminated beef carcasses. *Journal of Food Protection* 66, 1247-1252.
- Gill, C.O., Landers, C., 2004, Microbiological conditions of detained beef carcasses before and after removal of visible contamination. *Meat Science* 66, 335-342.
- Gill, C.O., McGinnis, J.C., Badoni, M., 1996, Use of total or *Escherichia coli* counts to assess the hygienic characteristics of a beef carcass dressing process. *International Journal of Food Microbiology* 31, 181-196.
- Gill, C.O., McGinnis, J.C., Bryant, J., 1998, Microbial contamination of meat during the skinning of beef carcass hindquarters at three slaughtering plants. *International Journal of Food Microbiology* 42, 175-184.
- Gill, C.O., Penney, N., 1977, Penetration of bacteria into meat. *Applied and Environmental Microbiology* 33, 1284-1285.
- Gill, C.O., Penney, N., 1982, Bacterial penetratin of Muscle-tissue. *Journal of Food Science* 47, 690-691.
- Gill, C.O., Penney, N., Nottingham, P.M., 1976, Effect of delayed evisceration on the microbial quality of meat. *Applied and Environmental Microbiology* 31, 465-468.
- Gill, C.O., Penney, N., Nottingham, P.M., 1978, Tissue sterility in uneviscerated carcasses. *Applied and Environmental Microbiology* 36, 356-359.
- Greig, J.D., Ravel, A., 2009, Analysis of foodborne outbreak data reported internationally for source attribution. *Int. J. Food Microbiol.* 130, 77-87.
- Heuvelink, A.E., Van Den Biggelaar, F.L.A.M., De Boer, E., Herbes, R.G., Melchers, W.J.G., Huis In 'T Veld, J.H.J., Monnens, L.A.H., 1998a, Isolation and characterization of verocytotoxin-producing *Escherichia coli* O157 strains from Dutch cattle and sheep. *Journal of Clinical Microbiology* 36, 878-882.
- Heuvelink, A.E., Van Den Biggelaar, F.L.A.M., Zwartkruis-Nahuis, J.T.M., Herbes, R.G., Huyben, R., Nagelkerke, N., Melchers, W.J.G., Monnens, L.A.H., De Boer, E., 1998b, Occurrence of verocytotoxin-producing *Escherichia coli* O157 on Dutch dairy farms. *Journal of Clinical Microbiology* 36, 3480-3487.
- Jaÿ, M., 2009. Elaboration d'un modèle expérimental d'étude de la contamination d'origine digestive en surface des viandes : application au danger *campylobacter* Nantes.
- James, C., Goksoy, E.O., Corry, J.E.L., James, S.J., 2000, Surface pasteurization of poultry meat using steam at atmospheric pressure. *Journal of Food Engineering* 45, 111-117.

- Kelly, C.A., Dempster, J.F., 1981, The effect of temperature, pressure and chlorine concentration of spray washing water on numbers of bacteria on lamb carcasses. *Journal of Applied Microbiology* 51, p. 415-424.
- Kochevar, S.L., Sofos, J.N., Bolin, R.R., Reagan, J.O., Smith, G.C., 1997, Steam vacuuming as a pre-evisceration intervention to decontaminate beef carcasses. *Journal of Food Protection* 60, 107-113.
- Kondjoyan, A., Daudin, J.D., 1997, Heat and Mass Transfer Coefficients at the Surface of a Pork Hindquarter. *Journal of Food Engineering* 32, 225-240.
- Koohmaraie, M., Arthur, T.M., Bosilevac, J.M., Brichta-Harhay, D.M., Kalchayanand, N., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., 2007, Interventions to reduce/eliminate *Escherichia coli* O157:H7 in ground beef. *Meat Science* 77, 90-96.
- Koohmaraie, M., Arthur, T.M., Bosilevac, J.M., Guerini, M., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., 2005, Post-harvest interventions to reduce/eliminate pathogens in beef. *Meat Science* 71, 79-91.
- Kosmider, R.D., Nally, P., Simons, R.R.L., Brouwer, A., Cheung, S., Snary, E.L., Wooldridge, M., 2010, Attribution of Human VTEC O157 Infection from Meat Products: A Quantitative Risk Assessment Approach. *Risk Analysis* 30, 753-765.
- Koutsoumanis, K., Stamatiou, A., Skandamis, P., Nychas, G.-J.E., 2006, Development of a microbial model for the combined effect of temperature and pH on spoilage of ground meat, and validation of the model under dynamic temperature conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 124-134.
- Kuitche, A., Letang, G., Daudin, J.D., 1996, Modelling of Temperature and Weight Loss Kinetics during Meat Chilling for Time-variable Conditions using an Analytical-based Method - II. Calculations Versus Measurements on Wet Plaster Cylinders and Cast. *Journal of Food Engineering* 28, 85-107.
- Lambert, G.P., Gisolfi, C.V., Berg, D.J., Moseley, P.L., Oberley, L.W., Kregel, K.C., 2002, Selected contribution: Hyperthermia-induced intestinal permeability and the role of oxidative and nitrosative stress. *Journal of Applied Physiology* 92, 1750-1761.
- Lammerding, A.M., Fazil, A., Paoli, G., Desmarchelier, P., Vabderkubde, P., 1999, Shiga toxin-producing *E. coli* in ground beef manufactured from Australian beef: process improvement. *Food Science Australia, Brisbane Laboratory*.
- LeRoux, A., Minvielle, B., Gault, E. 2008. Evaluation of the efficacy of Lactic acid and Buffered Lactic acid on naturally contaminated pork carcasses during the slaughtering process. In the International Congress of Meat Science and technology (ICoMST) (Le Cap (Afrique du Sud)).
- Lovatt, S.J., Bell, R.G., Le Roux, G.J., 2006, Establishment of critical hygiene indices for meat cooling processes evaluated by a temperature function integration method. *Journal of Food Protection* 69, 2084-2090.
- Mackey, B.M., Derrick, C.M., 1979, Contamination of the deep tissues of carcasses by bacteria present on the slaughter instruments or in the gut. *Journal of Applied Bacteriology* 46, 355-366.
- Magras, C., Jaÿ, M., Laroche, M. 2010. Quantification de l'adhérence de *Campylobacter* sur le muscle Rectus abdominis après une inoculation en surface. In *Rencontres Recherche Ruminants* (Paris (décembre), sous-presse), p. 4 pages.
- Martin, C., Brossard, L., Doreau, M., 2006, Mechanisms of appearance of ruminal acidosis and consequences on physiopathology and performances. *Journal of Animal Science* 103, 19, 93-107.
- Mather, A.E., Innocent, G.T., McEwen, S.A., Reilly, W.J., Taylor, D.J., Steele, W.B., Gunn, G.J., Ternent, H.E., Reid, S.W.J., Mellor, D.J., 2007, Risk factors for hide contamination of Scottish cattle at slaughter with *Escherichia coli* O157. *Preventive Veterinary Medicine* 80, 257-270.

- Mather, A.E., Reid, S.W.J., McEwen, S.A., Ternent, H.E., Reid-Smith, R.J., Boerlin, P., Taylor, D.J., Steele, W.B., Gunn, G.J., Mellor, D.J., 2008, Factors associated with cross-contamination of hides of Scottish cattle by *Escherichia coli* O157. *Applied and Environmental Microbiology* 74, 6313-6319.
- Matthews, L., McKendrick, I.J., Ternent, H., Gunn, G.J., Synge, B., Woolhouse, M.E.J., 2006, Super-shedding cattle and the transmission dynamics of *Escherichia coli* O157. *Epidemiology and Infection* 134, 131-142.
- McEvoy, J.M., Doherty, A.M., Sheridan, J.J., Blair, I.S., McDowell, D.A., 2003a, The prevalence and spread of *Escherichia coli* O157:H7 at a commercial beef abattoir. *Journal of Applied Microbiology* 95, 256-266.
- McEvoy, J.M., Doherty, A.M., Sheridan, J.J., Blair, I.S., McDowell, D.A., 2003b, The prevalence of *Salmonella* spp. in bovine faecal, rumen and carcass samples at a commercial abattoir. *Journal of Applied Microbiology* 94, 693-700.
- McMeekin, T.A., 2007, Predictive microbiology: Quantitative science delivering quantifiable benefits to the meat industry and other food industries. *Meat Science* 77, 17-27.
- Minvielle, B., Le Roux, A., DeMontzey, S., 2005, Décontamination des carcasses de porc : Double flambage: intérêt et efficacité du procédé. *Viandes et produits carnés* 24, 83-87.
- Moeser, A.J., Klok, C.V., Ryan, K.A., Wooten, J.G., Little, D., Cook, V.L., Blikslager, A.T., 2007a, Stress signaling pathways activated by weaning mediate intestinal dysfunction in the pig. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology* 292, G173-G181.
- Moeser, A.J., Ryan, K.A., Nighot, P.K., Blikslager, A.T., 2007b, Gastrointestinal dysfunction induced by early weaning is attenuated by delayed weaning and mast cell blockade in pigs. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology* 293, G413-G421.
- Morgan, A.I., Goldberg, N., Radewonuk, E.R., Scullen, O.J., 1996, Surface pasteurization of raw poultry meat by steam. *LWT - Food Science and Technology* 29, 447-451.
- Nabuurs, M.J.A., Van Essen, G.J., Nabuurs, P., Niewold, T.A., Van Der Meulen, J., 2001, Thirty minutes transport causes small intestinal acidosis in pigs. *Research in Veterinary Science* 70, 123-127.
- Nastasijevic, I., Mitrovic, R., Buncic, S., 2008, Occurrence of *Escherichia coli* O157 on hides of slaughtered cattle. *Letters in Applied Microbiology* 46, 126-131.
- Nastasijevic, I., Mitrovic, R., Buncic, S., 2009, The occurrence of *Escherichia coli* O157 in/on faeces, carcasses and fresh meats from cattle. *Meat Science* 82, 101-105.
- Nauta, M., Evers, E., Takumi, K., Havelaar, A., 2001, Risk assessment of shiga-like producing *Escherichia coli* O157 in steak tartar in the Netherlands. Report 257851003/2001, 169.
- Nazli, A., Yang, P.C., Jury, J., Howe, K., Watson, J.L., Söderholm, J.D., Sherman, P.M., Perdue, M.H., McKay, D.M., 2004, Epithelia under Metabolic Stress Perceive Commensal Bacteria as a Threat. *American Journal of Pathology* 164, 947-957.
- Nutsch, A.L., Phebus, R.K., Riemann, M.J., Schafer, D.E., Boyer Jr, J.E., Wilson, R.C., Leising, J.D., Kastner, C.L., 1997, Evaluation of a steam pasteurization process in a commercial beef processing facility. *Journal of Food Protection* 60, 485-492.
- O'Brien, S.B., Duffy, G., Carney, E., Sheridan, J.J., McDowell, D.A., Blair, I.S., 2005, Prevalence and numbers of *Escherichia coli* O157 on bovine hides at a beef slaughter plant. *Journal of Food Protection* 68, 660-665.
- Omisakin, F., MacRae, M., Ogden, I.D., Strachan, N.J.C., 2003, Concentration and prevalence of *Escherichia coli* O157 in cattle feces at slaughter. *Applied and Environmental Microbiology* 69, 2444-2447.

- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1998, Acidosis in Cattle: A Review. *Journal of Animal Science* 76, 275-286.
- Peyron, A., Rivollier, M., Christieans, S., 2008, La décontamination : Le point sur les procédés outre-Atlantique. Efficacité bactériologique des traitements physiques et/ou chimiques dédiés à la décontamination des carcasses. *Viandes et produits carnés* 26, 115-121.
- Phebus, R.K., Nutsch, A.L., Schafer, D.E., 1996. Laboratory and commercial evaluation of a steam pasteurization process for reduction of bacterial populations on beef carcass surfaces In: *Reciprocal Meat Conference Proceedings*, pp. 121-124.
- Phebus, R.K., Nutsch, A.L., Schafer, D.E., Wilson, R.C., Riemann, M.J., Leising, J.D., Kastner, C.L., Wolf, J.R., Prasai, R.K., 1997, Comparison of steam pasteurization and other methods for reduction of pathogens on surfaces of freshly slaughtered beef. *Journal of Food Protection* 60, 476-484.
- Purnell, G., Allen, V., James, S., Ketteringham, L., 2005, The effects of surface steam treatment on bacterial reduction and storage of beef primals and retail cuts. *Journal of Food Engineering* 68, 419-427.
- Rangel, J.M., Sparling, P.H., Crowe, C., Griffin, P.M., Swerdlow, D.L., 2005, Epidemiology of *Escherichia coli* O157:H7 outbreaks, United States, 1982-2002. *Emerging Infectious Diseases* 11, 603-609.
- Reichel, M.P., Phillips, D.M., Jones, R., Gill, C.O., 1991, Assessment of the hygienic adequacy of a commercial hot boning process for beef by a temperature function integration technique. *Int. J. Food Microbiol.* 14, 27-41.
- Reid, C.A., Small, A., Avery, S.M., Buncic, S., 2002, Presence of food-borne pathogens on cattle hides. *Food Control* 13, 411-415.
- Rhoades, J.R., Duffy, G., Koutsoumanis, K., 2009, Prevalence and concentration of verocytotoxigenic *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in the beef production chain: A review. *Food Microbiology* 26, 357-376.
- Rozier, J., Rive, M., Place-Vergnes, N., 1980, Etude du gîte comme échantillon pour l'examen bactériologique des viandes fraîches. *Bulletin de la Société Vétérinaire Pratique de France* 64, 27-43.
- Salzman, A.L., Wang, H., Wollert, P.S., Vandermeer, T.J., Compton, C.C., Denenberg, A.G., Fink, M.P., 1994, Endotoxin-induced ileal mucosal hyperpermeability in pigs: Role of tissue acidosis. *AM.J.PHYSIOL.* 266, G633-G646.
- Sanchez, S., Martinez, R., Garcia, A., Blanco, J., Echeita, A., Hermoso de Mendoza, J., Rey, J., Alonso, J.M., 2010, Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 from extensive cattle of the fighting bulls breed. *Research in Veterinary Science* 88, 208-210.
- Santos, J., Saunders, P.R., Hanssen, N.P.M., Yang, P.C., Yates, D., Groot, J.A., Perdue, M.H., 1999, Corticotropin-releasing hormone mimics stress-induced colonic epithelial pathophysiology in the rat. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology* 277, G391-G399.
- Saunders, P.R., Kosecka, U., McKay, D.M., Perdue, M.H., 1994, Acute stressors stimulate ion secretion and increase epithelial permeability in rat intestine. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology* 267, G794-G799.
- Saunders, P.R., Santos, J., Hanssen, N.P.M., Yates, D., Groot, J.A., Perdue, M.H., 2002, Physical and psychological stress in rats enhances colonic epithelial permeability via peripheral CRH. *Digestive Diseases and Sciences* 47, 208-215.
- SCFCAH 2009. Summary record of the standing committee on the food chain and animal health held on 16 February (Section Biological Safety of the Food Chain) (Bruxelles).

- Seidler, T., Alter, T., Kruger, M., Fehlhaber, K., 2001, Transport stress - Consequences for bacterial translocation, endogenous contamination and bactericidal activity of serum of slaughter pigs. *Berliner und Munchener Tierarztliche Wochenschrift* 114, 375-377.
- Signorini, M., Tarabla, H., 2009, Quantitative risk assessment for verocytotoxigenic *Escherichia coli* in ground beef hamburgers in Argentina. *International Journal of Food Microbiology* 132, 153-161.
- Small, A., Reid, C.A., Avery, S.M., Karabasil, N., Crowley, C., Buncic, S., 2002, Potential for the spread of *Escherichia coli* O157, *Salmonella*, and *Campylobacter* in the lairage environment at abattoirs. *Journal of Food Protection* 65, 931-936.
- Smetanka, R.D., Lambert, G.P., Murray, R., Eddy, D., Horn, M., Gisolfi, C.V., 1999, Intestinal permeability in runners in the 1996 Chicago marathon. *International Journal of Sport Nutrition* 9, 426-433.
- Smith, M.G., 1985, The generation time, lag time, and minimum temperature of growth of coliform organisms on meat, and the implications for codes of practice in abattoirs. *Journal of Hygiene* 94, 289-300.
- Soderholm, J.D., Perdue, M.H., 2001, Stress and the gastrointestinal tract II. Stress and intestinal barrier function. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology* 280, G7-G13.
- Sofos, J.N., Smith, G.C., 1998, Nonacid meat decontamination technologies: Model studies and commercial applications. *International Journal of Food Microbiology* 44, 171-188.
- Steenberg, B., Teilmann, J., Christensen, H., Dalsgaard, B., 2006. Steam vacuum versus knife trimming for beef slaughter. In: the International Congress of Meat Science and technology (ICoMST), Dublin, Ireland.
- Steenberg, B., Tomgren, M.A., Madsen, N.T., 2005. Communication. In: the International Congress of Meat Science and technology (ICoMST), Baltimore, USA.
- Stephens, T.P., McAllister, T.A., Stanford, K., 2009, Perineal swabs reveal effect of super shedders on the transmission of *Escherichia coli* O157:H7 in commercial feedlots. *Journal of Animal Science* 87, 4151-4160.
- Van Donkersgoed, J., Graham, T., Gannon, V., 1999, The prevalence of verotoxins, *Escherichia coli* O157:H7, and *Salmonella* in the feces and rumen of cattle at processing. *Canadian Veterinary Journal* 40, 332-338.
- Wallon, C., Yang, P.C., Keita, A.V., Ericson, A.C., McKay, D.M., Sherman, P.M., Perdue, M.H., Söderholm, J.D., 2008, Corticotropin-releasing hormone (CRH) regulates macromolecular permeability via mast cells in normal human colonic biopsies in vitro. *Gut* 57, 50-58.
- Warriner, K., Eveleigh, K., Goodman, J., Betts, G., Gonzales, M., Waites, W.M., 2001, Attachment of bacteria to beef from steam-pasteurized carcasses. *Journal of Food Protection* 64, 493-497.
- Wells, J.E., Shackelford, S.D., Berry, E.D., Kalchayanand, N., Guerini, M.N., Varel, V.H., Arthur, T.M., Bosilevac, J.M., Freetly, H.C., Wheeler, T.L., Ferrell, C.L., Koohmaraie, M., 2009, Prevalence and level of *Escherichia coli* O157:H7 in feces and on hides of feed lot steers fed diets with or without wet distillers grains with solubles. *Journal of Food Protection* 72, 1624-1633.
- Whyte, P., McGill, K., Collins, J.D., 2003, An assessment of steam pasteurization and hot water immersion treatments for the microbiological decontamination of broiler carcasses. *Food Microbiology* 20, 111-117.
- Wiest, R., Rath, H.C., 2003, Bacterial translocation in the gut. *Bailliere's Best Practice and Research in Clinical Gastroenterology* 17, 397-425.
- Wolochow, H., Hildebrand, G.J., Lamanna, C., 1966, Translocation of microorganisms across the intestinal wall of the rat: effect of microbial size and concentration. *Journal of Infectious Diseases* 116, 523-528.

Zhao, T., Doyle, M.P., Shere, J., Garber, L., 1995, Prevalence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in a survey of dairy herds. Applied and Environmental Microbiology 61, 1290-1293.