

Hiérarchiser les risques de zoonoses alimentaires : une approche quantitative. Application aux dangers bactériens transmis par les viandes porcine et bovine

J. Fosse^(1, 2), H. Seegers⁽²⁾ & C. Magras⁽¹⁾

(1) UMR Sécurité des aliments et microbiologie (SECALIM 1014), École nationale vétérinaire, Institut national de la recherche agronomique (INRA), Route de Gachet, BP 40307 Cedex 3, Nantes, France

(2) UMR Bio-agression, épidémiologie et analyse de risques (BIOEPAR 1300), École nationale vétérinaire, Institut national de la recherche agronomique (INRA), Route de Gachet, BP 40307 Cedex 3, Nantes, France

Date de soumission : 26 juin 2007

Date d'acceptation : 8 février 2008

Résumé

Les zoonoses alimentaires constituent une préoccupation de santé publique majeure. L'analyse des risques, fondement des politiques internationales relatives à la sécurité sanitaire et aux échanges commerciaux des denrées d'origine animale, demande d'évaluer la gravité et l'occurrence des cas humains en fonction de la denrée. Les outils de quantification des risques disponibles sont limités à l'estimation des conséquences de certaines maladies. Les auteurs proposent une démarche générique quantitative de hiérarchisation des risques de zoonoses alimentaires reposant sur la construction d'une typologie des dangers et le calcul d'une note de risque. La quantification de la gravité des cas humains utilise la combinaison des taux d'hospitalisation et de létalité moyens. Le calcul de la part alimentaire permet d'estimer l'incidence des cas spécifiquement liés à la denrée évaluée. Cette méthode, illustrée par une application au couple « dangers zoonotiques bactériens – viandes porcine et bovine », constitue une aide à la décision en santé publique vétérinaire.

Mots-clés

Bovin – Évaluation quantitative des risques – Part alimentaire attribuable – Porc – Viande – Zoonose alimentaire.

Introduction

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime à plus de 2,2 millions le nombre annuel de décès attribuables aux maladies diarrhéiques transmises par l'eau et les aliments contaminés dans les pays les moins avancés (36). Dans les pays industrialisés, de 10 % à un tiers de la population contracterait, annuellement, une maladie infectieuse d'origine alimentaire (27, 36). L'estimation, pour ces pays, des coûts induits par ces infections alimentaires – coûts

directs liés aux dépenses inhérentes au traitement des malades ; coûts indirects liés aux arrêts de travail des malades et aux pertes de productivité ; coûts intangibles humains et psychologiques – met en exergue leur impact sanitaire et social majeur (30, 40, 41, 50).

Parmi ces maladies infectieuses d'origine alimentaire, les zoonoses alimentaires, maladies de l'homme induites par la consommation d'aliments d'origine animale contaminés par un danger biologique dont l'animal était la source,

occupent une place particulière. En effet, ces dangers biologiques, entendus ici comme des « agents [...] présents dans un aliment [...] pouvant avoir un effet néfaste sur la santé » (8), sont le plus souvent associés à un portage inapparent chez les animaux producteurs (9, 45, 47). Ces dangers ne sont pas détectables macroscopiquement, tant au stade de la production primaire qu'à celui de l'abattage (15, 18, 49). Par conséquent, la maîtrise de ces dangers pour le consommateur implique d'appréhender les mesures d'évaluation, de gestion et de communication sur les risques infectieux en santé publique vétérinaire sous un angle nouveau en considérant les triptyques « danger / denrée alimentaire / espèce animale réservoir ». La conception d'actions concertées de maîtrise des agents de zoonoses alimentaires se doit donc d'identifier préalablement les dangers hébergés par une espèce animale donnée et pouvant être transmis par la consommation des denrées issues de cette espèce. C'est dans cet esprit qu'a été promulgué dans l'Union européenne, en 2002, la législation alimentaire générale ou *General Food Law* (11) (règlement 178/2002). Ce règlement a institué l'analyse des risques au long de la chaîne alimentaire, de la production primaire – l'élevage – au consommateur, comme fondement des politiques sanitaires européennes relatives à la sécurité des aliments. De même, afin de garantir à l'échelle internationale un niveau optimal de sécurité sanitaire dans les échanges d'animaux et de denrées agro-alimentaires, l'Accord sanitaire et phytosanitaire (SPS) de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), entré en application en 1994, autorise chaque État à définir le niveau de protection des consommateurs qu'il juge approprié et à restreindre si nécessaire le commerce international dans le but de protéger la vie des personnes, des animaux ou des plantes (29). Toutefois, ces mesures ne doivent pas représenter des restrictions injustifiées, arbitraires ou déguisées vis-à-vis du commerce international. Seule l'évaluation des risques, telle que définie par les organismes internationaux compétents, notamment le *Codex alimentarius* et l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) pour ce qui nous intéresse ici, est reconnue par cet Accord comme méthodologie de référence justifiant les décisions prises et limitant ainsi les restrictions injustifiées aux échanges commerciaux (39).

L'analyse des risques comporte une phase initiale d'évaluation des risques, s'appuyant sur quatre étapes définies par le *Codex alimentarius* en 1995 :

- l'identification des dangers (*hazard identification*),
- leur caractérisation, notamment en termes d'évaluation des effets (*hazard characterization*),
- l'évaluation de l'exposition aux dangers (*exposure assessment*) et enfin,
- l'estimation des risques (*risk characterization*) (28, 43, 45).

Si les étapes de cette évaluation des risques sont décrites, aucun critère de quantification des risques n'est en revanche proposé. L'estimation du risque alimentaire doit néanmoins, selon les exigences du règlement (CE) 178/2002 (11), résulter de la prise en compte conjuguée de la fréquence d'exposition du consommateur au danger et de la gravité des signes cliniques induits chez le consommateur humain par ce danger. L'estimation de risque des zoonoses alimentaires nécessite donc de quantifier deux termes : la fréquence de la zoonose alimentaire évaluée et la gravité des cas cliniques induits.

La fréquence du risque peut être assimilée à l'occurrence d'exposition du consommateur au danger en fonction du véhicule alimentaire, et plus précisément ici de la denrée alimentaire d'origine animale. Si les données relatives aux taux d'incidence moyens des maladies infectieuses d'origine alimentaire dans les populations des pays développés existent ou sont calculables (4, 10, 13, 21, 22, 51), la proportion de ces cas humains recensés ou estimés spécifiquement attribuable à la consommation d'un aliment donné est en revanche plus rarement connue. Or cette proportion attribuable – ou part alimentaire – constitue, dans un objectif d'évaluation quantitative des risques zoonotiques alimentaires, une donnée indispensable (3, 18, 23).

L'évaluation de la gravité des cas humains de zoonoses alimentaires implique d'objectiver les effets spécifiques d'une maladie humaine occasionnée par un agent étiologique donné. Le recours aux taux de morbidité (part des malades au sein de la population totale) ou de mortalité (part des décès dans la population totale), fréquente dans les études épidémiologiques relatives aux maladies infectieuses d'origine alimentaire (30, 51), constitue une démarche d'intérêt. Cependant, en n'envisageant que l'impact global d'une maladie sur une population moyenne, ces indicateurs ne prennent pas en considération la sensibilité particulière de sous-populations à risque accru, c'est-à-dire les femmes enceintes, les enfants, les personnes âgées et immunodéprimées (20). En outre, ils font abstraction des doses infectieuses, variables en fonction des dangers et de la sensibilité de la population cible. Or ces doses infectieuses doivent être envisagées dans le cadre d'une analyse des risques alimentaires intégrant les niveaux moyens de contamination des aliments étudiés (6, 43). Ces données sont néanmoins manquantes pour de nombreux dangers biologiques (15, 16, 17). L'utilisation des taux d'hospitalisation et de létalité des personnes malades, c'est-à-dire les parts des personnes hospitalisées et décédées respectivement parmi la population exprimant cliniquement la maladie, peut en revanche permettre de contourner cette difficulté (18). En effet, ces indicateurs sont calculés pour la population malade, c'est-à-dire – par

définition – la population pour laquelle les doses infectieuses ont été atteintes. L'impact clinique d'une maladie infectieuse d'origine alimentaire peut également être objectivé à l'aide d'indicateurs quantitatifs tels que les QALY (*Quality-Adjusted Life Year*), combinant en un indicateur synthétique les diminutions estimées de la durée et de la qualité de vie induites par une maladie donnée (5, 38, 44, 53), ou les DALY (*Disability-Adjusted Life Year*) apportant une estimation du nombre d'années de vie perdues du fait de la présence d'une maladie donnée (19, 26, 33). Néanmoins, ces deux approches impliquent de disposer de données chiffrées, concernant notamment l'incidence de la maladie infectieuse en fonction du véhicule alimentaire, mais également du sexe et de la classe d'âge de la population cible étudiée. Or ces données sont manquantes pour de nombreux dangers zoonotiques alimentaires (26). Cette limite explique pourquoi l'OMS ne peut, à ce jour, évaluer spécifiquement le poids sanitaire (*global burden of diseases*) des syndromes diarrhéiques en fonction des agents étiologiques incriminés (35, 37).

Enfin, tous ces éléments de caractérisation des dangers biologiques responsables de zoonoses alimentaires, concernant l'évaluation de la fréquence ou de la gravité des cas cliniques humains induits par le danger, ne peuvent être mis en œuvre qu'après une étape préliminaire d'identification des dangers susceptibles d'être transmis au consommateur par le biais d'un véhicule alimentaire donné. Or cette identification est parfois délicate, puisqu'elle implique de connaître la répartition dans le temps et dans l'espace d'agents pathogènes dont l'incrimination en tant qu'agent de maladie d'origine alimentaire ne peut parfois qu'être suspectée. La discrimination des dangers d'intérêt parmi l'ensemble des dangers pouvant être transmis au consommateur constitue donc l'étape initiale essentielle dans une démarche d'évaluation des risques.

L'objectif de ce travail est de proposer et appliquer une démarche générique quantitative de hiérarchisation des risques zoonotiques alimentaires, qui a fait l'objet d'une application particulière aux viandes porcines en Europe (18), alternative aux méthodes existantes et applicable par les acteurs des filières agro-alimentaires en charge de la mise en œuvre des mesures de santé publique vétérinaire. Cette méthode repose sur la construction d'une typologie des dangers, la définition d'indicateurs quantitatifs de gravité des maladies alimentaires infectieuses et la combinaison de ces indicateurs à des évaluations de l'incidence des cas cliniques humains spécifiquement attribuables à la consommation d'un aliment donné. La mise en œuvre de cette méthodologie sera illustrée par une application à l'analyse comparée des dangers zoonotiques bactériens transmis par la consommation des viandes bovine et porcine dans les pays développés européens et nord-américains.

Matériel et méthode

Sélection des données bibliographiques

Une étude bibliographique est menée afin de répertorier les données permettant :

- d'identifier les dangers, ici bactériens, susceptibles d'être transmis à l'homme par la consommation de la denrée étudiée, ici les viandes bovine et porcine ;
- d'évaluer l'incidence annuelle des cas cliniques humains induits par les dangers ;
- de connaître leurs taux d'hospitalisation et de létalité pour les pays développés européens et nord-américains (2, 10, 42).

Dans cette étude, 660 références ont ainsi été sélectionnées à partir :

- de bases de données bibliographiques (*Commonwealth Abstract Bulletin* – CAB – ou *Medline*) pour les articles scientifiques publiés dans des revues indexées ;
- du moteur de recherche Google pour les rapports officiels des organisations internationales ; OMS, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), *Codex alimentarius*, Banque mondiale, Commission européenne, Organisation pour la coopération économique et le développement (OCDE), OIE. Seules les données datant de moins de 20 ans ont été ici incluses.

Identification des dangers et construction d'une typologie

La typologie des dangers est basée sur trois critères majeurs. Le premier tient à la définition même du danger. L'agent infectieux est-il un danger pour l'homme, c'est-à-dire est-il responsable d'un effet néfaste sur la santé de l'homme du fait de la consommation d'une denrée contaminée par cet agent ? La réponse à cette question permet de distinguer :

- les dangers « avérés », c'est-à-dire les dangers ayant induit des cas cliniques humains pour lesquels la denrée analysée, ici la viande bovine ou porcine, a été identifiée comme l'aliment véhicule du danger ;
- des dangers « suspectés », dangers détectés sur la denrée étudiée mais pour lesquels la transmission à l'homme par voie alimentaire reste contestée, ou dangers responsables de maladies d'origine alimentaire mais dont la mise en évidence sur la denrée concernée n'est pas prouvée.

Le second critère porte sur la présence ou non du danger sur le territoire géographique de production de la denrée

étudiée. Si le danger est présent sur le territoire concerné – dans cette étude, les pays développés européens ou nord-américains – le danger est alors considéré comme « autochtone ». Dans le cas contraire, il est qualifié d'« exotique ».

Enfin, le troisième critère relève de la répartition dans le temps du danger, les dangers « actuels » étant opposés aux dangers « historiques », non identifiés au moment de la réalisation de la typologie des dangers mais susceptibles de réapparaître sur le territoire étudié.

Définition d'une note de gravité des cas cliniques humains

Pour chaque danger, les taux moyens d'hospitalisation (H, en %) et de létalité (L, en %) des cas sont calculés à partir des données épidémiologiques disponibles recensées en France (51) ou aux États-Unis (32). À partir de ces taux, une note de gravité G_k de ces cas est calculée selon l'équation suivante :

$$G_k = H + k L$$

k étant une constante visant à accentuer le poids relatif des agents de zoonoses à forte létalité. Sept valeurs de k ont été testées (1 ; 5 ; 10 ; 20 ; 50 ; 100 ; 1 000) afin de comparer la sensibilité de la méthode de hiérarchisation relative des dangers en fonction de k .

Évaluation de l'exposition du consommateur aux dangers bactériens zoonotiques

Pour chaque danger, un taux d'incidence annuelle moyen (I, exprimé en cas pour 100 000 habitants et par an) est calculé à partir des données disponibles dans les principaux pays développés européens ou nord-américains (2, 4, 13, 46, 51). Les taux minimaux et maximaux sont également recensés.

En outre, pour chacun de ces dangers, une part alimentaire ($PA_{denrée}$, en %) moyenne, minimale et maximale, correspondant à la proportion des cas de zoonose alimentaire spécifiquement attribuable à la consommation de la denrée évaluée, ici la viande bovine (PA_{bov}) et la viande porcine (PA_{porc}), est calculée à partir :

– des données recensant les cas cliniques humains de zoonose alimentaire en fonction de la denrée évaluée (13, 34) :

$$PA_{denrée} = \frac{n_{denrée}}{n_{total}}$$

$n_{denrée}$ étant le nombre de cas cliniques dus à un danger donné transmis par la denrée alimentaire étudiée (ici la

viande bovine ou porcine), et n_{total} , le nombre total de cas humains de zoonoses alimentaires pour un danger donné ;

– et/ou, quand ces données sont manquantes, à partir de la proportion des foyers de zoonoses alimentaires dus à la denrée évaluée multipliée par le nombre moyen de cas cliniques par foyer (13, 14, 21, 46, 48) :

$$PA_{denrée} = \frac{F_{denrée} \times N_{denrée}}{F_{total} \times N}$$

$F_{denrée}$ étant le nombre de foyers de zoonoses alimentaires liés à la consommation de la denrée alimentaire étudiée (ici les viandes, bovine et porcine), pour un danger donné ; F_{total} , le nombre total de foyers pour un danger donné ; $N_{denrée}$, le nombre moyen de cas cliniques humains pour un foyer de zoonose alimentaire attribuable à la consommation de la denrée et N , le nombre moyen de cas humains de zoonoses alimentaires par foyer pour un danger donné ;

– et/ou, quand ces données sont manquantes, à partir des estimations obtenues par élicitation d'avis d'experts lors d'une étude américaine menée en 2006 (25).

Les taux d'incidence moyen, minimal et maximal des cas cliniques humains de zoonose alimentaire dus à la denrée évaluée pour un danger donné ($I_{denrée}$, en cas pour 100 000 habitants et par an) sont calculés à partir des taux d'incidence globale moyen, minimal et maximal et des parts alimentaires moyenne, minimale et maximale, respectivement :

$$I_{denrée} = I \times PA_{denrée}$$

Évaluation quantitative des risques

Pour chacun des dangers, une note de risque est calculée à partir de l'équation suivante :

$$R^k_{denrée} = I_{denrée} \times G_k$$

avec, ici, R^k_{bov} et R^k_{porc} étant les notes de risque moyennes, minimales et maximales pour les consommateurs de viandes bovine et porcine, respectivement, en fonction du facteur k .

Résultats

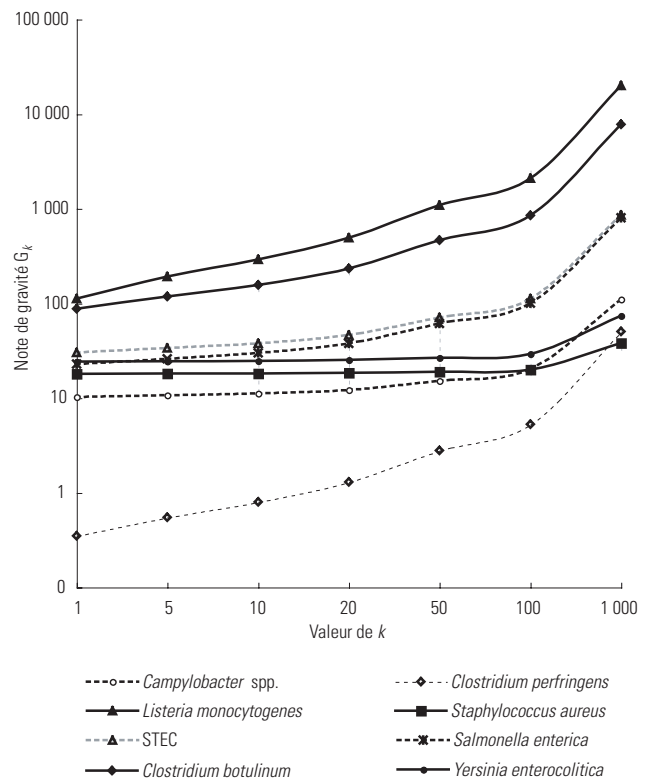
Identification et typologie des dangers bactériens

Pour les viandes bovines, dix dangers bactériens ont été identifiés, dont huit sont avérés, actuels et autochtones : *Campylobacter* spp. thermotolérants, *Clostridium botulinum*,

Clostridium perfringens, *Listeria monocytogenes*, *Mycobacterium* spp., *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*, les *Escherichia coli* shiga-toxinogènes ou STEC (15, 16). Les viandes de porc peuvent être à l'origine de la transmission à l'homme de quatorze dangers bactériens, dont neuf sont avérés, actuels et autochtones : les *Campylobacter* spp. thermotolérants, *C. botulinum*, *C. perfringens*, *L. monocytogenes*, *Mycobacterium* spp., *Salmonella enterica*, *S. aureus*, les STEC et *Yersinia enterocolitica* (16, 17) (Tableau I).

Quantification de la gravité des cas cliniques humains dus aux dangers bactériens avérés pour la population totale des pays européens et nord-américains

La hiérarchisation des dangers selon les notes de gravité G_k n'est pas modifiée pour les valeurs k comprises entre 5 et 100 lorsque les données américaines sont utilisées (Fig. 1), *L. monocytogenes* apparaissant comme le danger dont la note de gravité est la plus élevée, devant *C. botulinum*, les STEC, *Salmonella enterica*, *Yersinia enterocolitica*, *S. aureus*, les *Campylobacter* thermotolérants et *C. perfringens*. Au regard des données françaises (Fig. 2), après *L. monocytogenes* et *C. botulinum*, *Yersinia enterocolitica* est caractérisé par la note de gravité la plus élevée pour $1 \leq k \leq 100$, *Salmonella enterica* n'apparaissant en troisième position que pour $k = 1\ 000$. De manière générale, la hiérarchisation des dangers n'est que faiblement modifiée lorsque k varie, les STEC étant caractérisés par une note de gravité supérieure à celle des salmonelles pour $k \leq 10$, cet ordre étant inversé pour $k > 10$. Pour toute valeur k ,

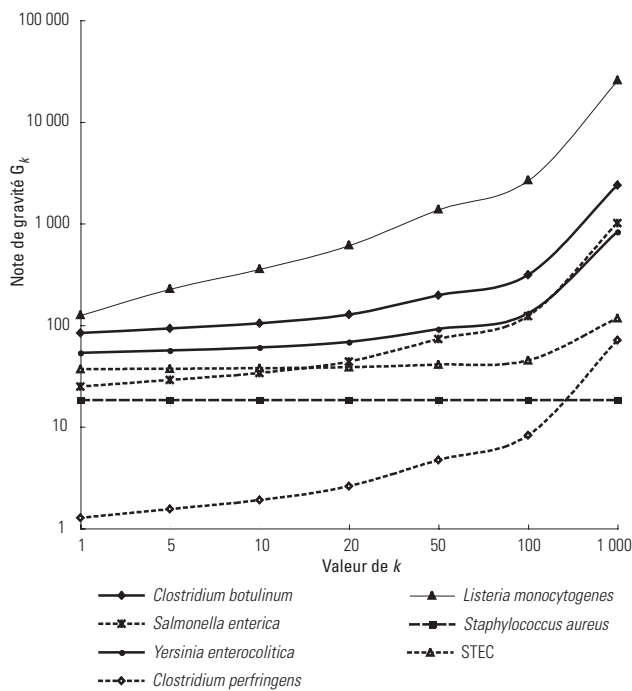


G_k : note de gravité des cas cliniques humains variant en fonction de k : $G_k = H + kL$, avec H et L les taux d'hospitalisation et de létalité moyens
 STEC : *Escherichia coli* shiga-toxinogènes

Fig. 1
 Variations des notes de gravité G_k en fonction de k d'après les taux d'hospitalisation et de létalité calculés à partir des données cliniques recensées aux États-Unis en 1999 (32)

Tableau I
 Identification et typologie des dangers bactériens transmis à l'homme par la consommation des viandes bovine et porcine

Danger	Présence sur / dans les viandes bovines	Présence sur / dans les viandes porcines	Classification analytique		Classification géographique		Classification historique	
			Danger avéré	Danger suspecté	Danger autochtone	Danger exotique	Danger actuel	Danger historique
<i>Bacillus anthracis</i>	X	X	X		X			X
<i>Bacillus cereus</i>	X	X		X	X		X	
<i>Brucella suis</i>		X		X	X		X	
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	X	X		X		X		X
<i>Campylobacter</i> spp. thermotolérants	X	X	X		X		X	
<i>Clostridium botulinum</i>	X	X	X		X		X	
<i>Clostridium perfringens</i>	X	X	X		X		X	
<i>Listeria monocytogenes</i>	X	X	X		X		X	
<i>Mycobacterium</i> spp.	X	X	X		X		X	
<i>Salmonella enterica</i>	X	X	X		X		X	
<i>Staphylococcus aureus</i>	X	X	X		X		X	
STEC (<i>Escherichia coli</i> shiga-toxinogènes)	X	X	X		X		X	
<i>Yersinia enterocolitica</i>		X	X		X		X	
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>		X	X			X	X	

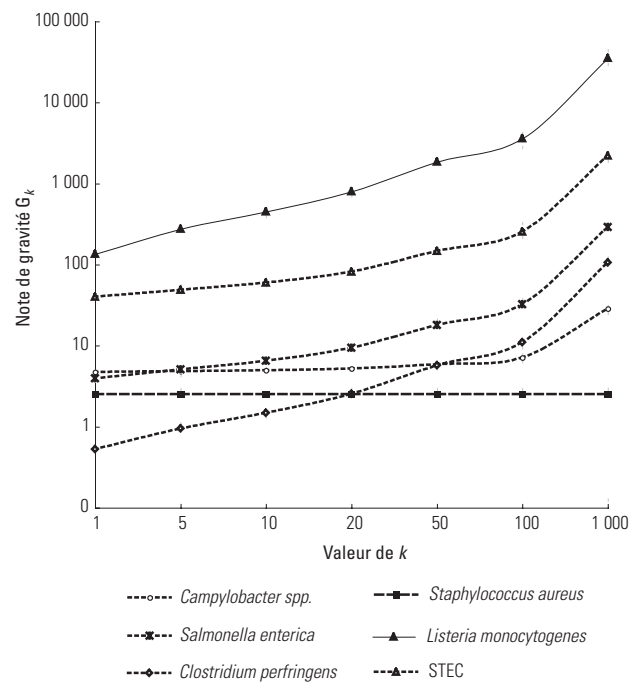


G_k : note de gravité des cas cliniques humains variant en fonction de k : $G_k = H + kL$, avec H et L les taux d'hospitalisation et de létalité moyens
STEC : *Escherichia coli* shiga-toxinogènes

Fig. 2
Variations des notes de gravité G_k en fonction de k d'après les taux d'hospitalisation et de létalité calculés à partir des données cliniques recensées en France en 2004 (51)

S. aureus et *C. perfringens* apparaissent comme les dangers caractérisés par les plus faibles notes de gravité. À partir des données britanniques (Fig. 3), la hiérarchisation des dangers selon les notes de gravité G_k n'est pas modifiée pour les valeurs k comprises entre 5 et 50 pour les quatre dangers à notes les plus élevées, *L. monocytogenes* apparaissant devant les STEC, *Salmonella enterica* et les *Campylobacter* thermotolérants. *Clostridium perfringens* ne devance *Campylobacter* que pour $k \geq 100$. L'absence de données relatives à *C. botulinum* ne permet pas de positionner ici ce danger. Dans la suite de ce travail, l'utilisation des notes de gravité G_k calculées pour $k = 10$ a été retenue afin d'évaluer quantitativement la gravité.

Concernant les dangers bactériens avérés actuels liés à la consommation des viandes bovine et porcine dans les pays développés, *L. monocytogenes* et *C. botulinum* sont caractérisés par les taux d'hospitalisation et de létalité moyens les plus élevés (Tableau II). De fait, ces deux dangers possèdent les notes de gravité G_k les plus fortes, pour l'ensemble des valeurs k testées, et ce en utilisant les données américaines (Fig. 1) ou françaises (Fig. 2) disponibles.



G_k : note de gravité des cas cliniques humains variant en fonction de k : $G_k = H + kL$, avec H et L les taux d'hospitalisation et de létalité moyens
STEC : *Escherichia coli* shiga-toxinogènes

Fig. 3
Variations des notes de gravité G_k en fonction de k d'après les taux d'hospitalisation et de létalité calculés à partir des données cliniques recensées en Angleterre et au Pays de Galles de 1992 à 2002 (1)

Évaluation de l'exposition du consommateur aux dangers

L'évaluation des taux d'incidence moyens des cas cliniques humains liés à la consommation des viandes bovines (I_{bov}) montre que les salmonelles puis les *Campylobacter* spp. thermotolérants constituent les deux dangers les plus fréquemment incriminés ($I_{bov} = 6,5$ et $3,2$ cas pour 100 000 habitants et par an, respectivement), devant les STEC et *C. perfringens* ($I_{bov} = 1,1$ et $0,3$; respectivement). Concernant les cas cliniques humains attribuables à la consommation des viandes porcines, *Salmonella enterica*, puis *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter* spp. et *C. perfringens* sont caractérisés par les taux d'incidence moyens les plus élevés ($I_{porc} = 3,4$; $2,9$; $2,2$; $0,2$; respectivement) (Tableau III).

Évaluation quantitative des risques

Les notes de risque moyennes calculées pour les viandes, bovine et porcine, avec $k = 10$, R_{bov}^{10} et R_{porc}^{10} respectivement, permettent de positionner relativement les dangers. Ainsi,

Tableau II
Notes de gravité G₁₀ calculées respectivement à partir des taux d'hospitalisation
et de létalité moyens recensés aux États-Unis, en France, et en Angleterre et Pays de Galles (1, 32, 51)

Danger bactérien avéré	Taux d'hospitalisation moyen (H, en %)			Taux de létalité moyen (L, en %)			Note G ₁₀					
	(A-PdG)	(USA)	(F)	(A-PdG)	(USA)	(F)	(A-PdG)	(USA)	(F)	Moy.	Min.	Max.
<i>Listeria monocytogenes</i>	100,0	92,2	100,0	35,1	20,0	25,7	451,4	292,2	357,0	366,9	292,2	451,4
<i>Clostridium botulinum</i>	a.d.	80,0	81,1	a.d.	7,7	2,3	a.d.	157,0	104,1	130,6	104,1	157,0
STEC	37,9	29,5	36,8	2,2	0,8	0,08	59,6	37,5	37,6	44,9	37,5	59,6
<i>Yersinia enterocolitica</i>	a.d.	24,2	52,5	a.d.	0,05	0,8	a.d.	24,7	60,5	42,6	24,7	60,5
<i>Salmonella enterica</i>	3,6	22,1	23,9	0,3	0,8	1,0	6,5	29,9	33,9	23,4	6,5	33,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	2,5	18,0	18,3	0,0	0,02	0,0	2,5	18,2	18,3	13,0	2,5	18,3
<i>Campylobacter</i> spp.	4,7	10,2	a.d.	0,0	0,1	a.d.	5,0	11,2	a.d.	8,1	5,0	11,2
<i>Clostridium perfringens</i>	0,4	0,3	1,2	0,1	0,05	0,07	1,5	0,8	1,9	1,4	0,8	1,9

a.d. : absence de données
 Moy. : valeur moyenne
 Min. : valeur minimale
 Max. : valeur maximale
 STEC : *Escherichia coli* shiga-toxinogènes
 A-PdG : Angleterre et Pays de Galles
 USA : États-Unis d'Amérique
 F : France

Tableau III
Évaluation des taux d'incidence des cas cliniques humains, exprimés en cas pour 100 000 habitants et par an, de zoonoses
bactériennes d'origine alimentaire liés à la consommation de viandes bovine et porcine (18)

Danger	I				PA _{bov} (en %)				PA _{porc} (en %)				I _{bov}			I _{porc}		
	Moy.	Min.	Max.	n	Moy.	Min.	Max.	n	Moy.	Min.	Max.	n	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
<i>Campylobacter</i> spp.	63,0	0,005	126,7	35	5,1	0,1	10,0	3	3,6	1,7	6,7	3	3,2	0,00001	12,7	2,2	0,00009	8,5
<i>Clostridium botulinum</i>	0,1	0,0	0,3	35	1,0*	s.o.	s.o.	s.o.	23,8	20,0	51,4	3	0,001	0,0	0,003	0,02	0,0	0,2
<i>Clostridium perfringens</i>	0,7	0,0	4,9	21	38,6	15,1	55,0	3	26,8	8,2	30,6	5	0,3	0,0	2,7	0,2	0,0	1,5
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,3	0,009	0,8	34	5,0*	s.o.	s.o.	s.o.	13,8	s.o.	s.o.	1	0,02	0,0005	0,04	0,04	0,001	0,11
<i>Mycobacterium</i> spp.	0,003	s.o.	s.o.	1	33,3*	s.o.	s.o.	s.o.	33,3*	s.o.	s.o.	s.o.	0,001	s.o.	s.o.	0,001	s.o.	s.o.
<i>Salmonella enterica</i>	51,5	1,4	476,2	58	12,6	1,8	25,5	4	6,6	1,9	13,2	8	6,5	0,03	121,4	3,4	0,03	62,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,5	0,0	1,7	29	17,4	16,1	18,7	2	12,2	10,9	24,6	5	0,09	0,0	0,3	0,06	0,0	0,4
STEC	1,3	0,01	5,7	33	84,0	67,9	100	2	4,5	s.o.	s.o.	1	1,1	0,007	5,7	0,06	0,0004	0,3
<i>Yersinia enterocolitica</i>	3,7	0,05	6,5	15	0,0	s.o.	s.o.	s.o.	77,3	71,6	81,8	3	s.o.	s.o.	s.o.	2,9	0,036	5,3

I : taux d'incidence des cas cliniques humains
 PA_{bov} : part alimentaire moyenne attribuable aux viandes bovines
 PA_{porc} : part alimentaire moyenne attribuable aux viandes porcines
 I_{bov} : taux d'incidence des cas cliniques humains attribuables aux viandes bovines
 I_{porc} : taux d'incidence des cas cliniques humains attribuables aux viandes porcines
 Moy. : valeur moyenne
 Max. : valeur maximale
 n : nombre de références utilisées par catégories
 * : estimation
 s.o. : sans objet
 STEC : *Escherichia coli* shiga-toxinogènes
 Min. : valeur minimale

Salmonella enterica apparaît comme le danger pour le consommateur de viandes bovines dont la note de risque est la plus élevée, devant les STEC. Pour les viandes porcines, *Yersinia enterocolitica* apparaît comme le danger dont la note de risque est la plus élevée, devant *Salmonella enterica*. Pour les deux viandes, les *Campylobacter* spp. thermotolérants occupent le troisième rang. La hiérarchisation des dangers est faiblement modifiée lorsque sont prises en considération les notes de risque minimales et maximales, les valeurs nulles observées pour les valeurs minimales pouvant être attribuées aux faibles niveaux d'incidence (Tableau IV).

Discussion

La hiérarchisation des dangers pour le consommateur en fonction de critères quantitatifs d'évaluation des risques constitue un enjeu majeur pour les acteurs des filières agro-alimentaires, qu'il s'agisse des concepteurs ou des contrôleurs des plans de maîtrise des dangers au sein des filières. Cette hiérarchisation des dangers se fondait jusqu'à présent essentiellement sur l'établissement d'un score semi-quantitatif de la gravité des cas cliniques induits par les dangers chez le consommateur, combiné à un score de

Tableau IV
Notes de risque R^{10}_{bov} et R^{10}_{porc} pour le consommateur de viandes, bovine et porcine (18)

Danger	Note de risque					
	Moy.	R^{10}_{bov} Min.	Max.	Moy.	R^{10}_{porc} Min.	Max.
<i>Campylobacter</i> spp.	26,0 ^[3]	0,00003 ^[4]	141,9 ^[3]	18,4 ^[3]	0,0004 ^[5]	95,1 ^[3]
<i>Clostridium botulinum</i>	0,1 ^[7]	0 ^[8]	0,5 ^[7]	3,1 ^[5]	0 ^[8]	24,2 ^[5]
<i>Clostridium perfringens</i>	0,4 ^[6]	0 ^[8]	5,1 ^[6]	0,3 ^[8]	0 ^[8]	2,8 ^[8]
<i>Listeria monocytogenes</i>	5,5 ^[4]	0,1 ^[3]	18,1 ^[4]	15,2 ^[4]	0,4 ^[2]	49,8 ^[4]
<i>Salmonella enterica</i>	151,8 ^[1]	0,2 ^[2]	4116,5 ^[1]	79,5 ^[2]	0,2 ^[3]	2130,9 ^[1]
<i>Staphylococcus aureus</i>	1,1 ^[5]	0 ^[8]	5,8 ^[5]	0,8 ^[7]	0 ^[8]	7,7 ^[7]
STEC	49,0 ^[2]	0,3 ^[1]	339,7 ^[2]	2,6 ^[6]	0,02 ^[4]	15,3 ^[6]
<i>Yersinia enterocolitica</i>	s.o.	s.o.	s.o.	121,8 ^[1]	0,9 ^[1]	321,7 ^[2]

Moy. : valeur moyenne
 Min. : valeur minimale
 Max. : valeur maximale

s.o. : sans objet
 [n] : rang de classement par ordre décroissant de note de risque
 STEC : *Escherichia coli* shiga-toxinogènes

probabilité de présence sur l'aliment étudié, notamment dans le cadre de l'application de la méthode de l'analyse des dangers et des points de contrôle pour leur maîtrise (HACCP) (7). Maudoux et ses collaborateurs ont d'ailleurs proposé un score de ce type pour cibler les dangers devant faire l'objet de plans de surveillance dans la chaîne alimentaire en Belgique, en combinant des notes de gravité des signes cliniques induits par le danger, de prévalence du danger sur/dans la denrée en fonction de sa détectabilité et de la contribution de la denrée à l'ensemble des cas cliniques, ces deux derniers éléments composant l'exposition du consommateur au danger (31). D'autres méthodes de hiérarchisation des risques zoonotiques ont été proposées, notamment pour les zoonoses non alimentaires, en s'appuyant sur des avis d'experts prenant en considération des indicateurs épidémiologiques (mortalité, létalité, morbidité, incidence, prévalence) et socio-économiques (52). Ces méthodes reposent sur une approche qualitative d'évaluation de la gravité rendant parfois délicate, dans un objectif de hiérarchisation – et donc de discrimination – des dangers, l'attribution de scores à des tableaux cliniques proches engendrés par des dangers distincts.

La combinaison des taux de létalité et d'hospitalisation, indicateurs calculés à partir de la population exprimant cliniquement la maladie, c'est-à-dire pour laquelle la dose infectieuse est atteinte, permet de contribuer à une quantification de la gravité des signes cliniques tout en s'exonérant de la nécessité de connaître spécifiquement cette dose infectieuse. La pondération du taux de létalité par un facteur k , visant à accentuer le poids relatif des dangers incriminés dans les cas dont l'évolution fatale est possible, permet de prendre en considération l'impact social fort de la mortalité sur ces cas cliniques. L'étude de la sensibilité de cette pondération, en faisant varier le facteur k et en observant le positionnement relatif des

dangers montre que la hiérarchisation des dangers est faiblement modifiée en fonction de k . La robustesse de cette méthode a par ailleurs été démontrée en comparant la hiérarchisation de dangers sur la base de valeurs médianes ou moyennes d'incidence des cas chez l'homme (18). L'utilisation de $k = 10$ pour le calcul des notes de gravité constitue l'option retenue, permettant ainsi de renforcer le poids relatif des dangers à forte létalité sans pour autant occulter l'impact de l'hospitalisation, qui constitue un coût direct élevé.

Cette évaluation quantitative de la gravité des cas cliniques humains de zoonoses alimentaires peut être pondérée par la prise en considération des répercussions non cliniques de ces cas, notamment économiques pour les acteurs des filières agro-alimentaires concernées, dans le cadre de schémas de hiérarchisation multifactorielle des risques (24). Ainsi, l'intégration des coûts liés au traitement des patients infectés, lors de cas cliniques isolés, ou aux répercussions socio-économiques pour les industries agro-alimentaires ou les établissements de restauration collective, lors de foyers de toxi-infections alimentaires collectives, permet de compléter, pour une aide à la décision sanitaire, les informations apportées par la quantification de la gravité. Ces coûts directs et indirects ont notamment fait l'objet d'une synthèse publiée par Rocourt en 1996 (41), synthèse dont les principales conclusions sont présentées dans le Tableau V. Ainsi, *C. botulinum* apparaît comme le danger conduisant aux coûts de traitement des patients les plus importants, devant *L. monocytogenes* (Tableau V). Ce danger induit également les principaux coûts associés aux industries agro-alimentaires. Notre modèle de quantification de la gravité des signes cliniques utilisant H et L a permis de positionner ces deux dangers comme ceux conduisant aux cas cliniques les plus graves, *L. monocytogenes* étant néanmoins positionné avant *C. botulinum*. La prise en

Tableau V

Évaluation des coûts moyens associés aux patients, à la restauration collective et à l'industrie agro-alimentaire lors de cas cliniques de zoonose alimentaire isolés ou collectifs, en dollars US consolidés 1998, d'après Rocourt (41)

Danger	Coût associé au patient	Coût associé à la restauration collective	Coût associé à l'industrie agro-alimentaire	Note moyenne G ₁₀
<i>Campylobacter</i> spp.	1 035,48 US \$ ^[7]	a.d.	a.d.	8,1 ^[6]
<i>Clostridium botulinum</i>	395 213,39 US \$ ^[1]	28 603,22 US \$ ^[2]	65 144 356,11 US \$ ^[1]	130,6 ^[2]
<i>Clostridium perfringens</i>	1 839,70 US \$ ^[4]	438,62 US \$ ^[4]	a.d.	1,4 ^[7]
<i>Listeria monocytogenes</i>	128 865,10 US \$ ^[2]	a.d.	25 434,81 US \$ ^[4]	366,9 ^[1]
<i>Salmonella enterica</i>	1 221,33 US \$ ^[6]	2 896,43 US \$ ^[3]	174 005,21 US \$ ^[2]	23,4 ^[4]
<i>Staphylococcus aureus</i>	1 456,46 US \$ ^[5]	36 840,02 US \$ ^[1]	59 202,33 US \$ ^[3]	13,0 ^[5]
<i>Yersinia enterocolitica</i>	5 800,97 US \$ ^[3]	a.d.	a.d.	42,6 ^[3]

a.d. : absence de données

[n] : rang de classement par ordre décroissant de coût ou de note de gravité G₁₀

considération des coûts directs et indirects ne semble donc pas modifier profondément la hiérarchisation des dangers selon l'échelle de gravité présentée ici. En outre, pour de nombreux dangers, cette évaluation des coûts est impossible du fait de l'absence de données disponibles, alors que notre méthode autorise un calcul pour un plus grand nombre d'agents de zoonoses alimentaires.

Afin d'évaluer l'exposition des consommateurs aux dangers, des taux d'incidence des cas cliniques humains de zoonoses alimentaires bactériennes sont calculés. Les valeurs recensées, tributaires des réseaux d'épidémiologie impliqués et de leurs différences organisationnelles, sont très variables d'un pays à l'autre. Ainsi, pour *Yersinia enterocolitica*, *C. perfringens* ou *C. botulinum*, les taux d'incidence observés varient très fortement (Tableau III), ces variations pouvant être liées à la difficulté de mise en évidence en routine de ces agents pathogènes et/ou leur incrimination spécifique lors de cas cliniques. Par conséquent, les taux d'incidence moyens présentés ici peuvent être considérés comme des estimations basses, du fait de sous-estimations. Les parts alimentaires calculées, à partir de la proportion de cas cliniques attribuables à un couple « denrée alimentaire / danger bactérien » donné ou, le cas échéant, à partir de la proportion de foyers d'infection alimentaire attribuables à un couple « denrée alimentaire / danger bactérien » donné, ont permis de pondérer ces taux d'incidence et d'évaluer spécifiquement l'exposition du consommateur à un danger donné transmis par un aliment donné. Du fait de pertes d'informations, ces parts alimentaires ne peuvent être envisagées, là encore, que comme des approximations. En outre, les habitudes alimentaires et les modalités de maîtrise des dangers dans les filières (autorisation de traitements physiques ou chimiques des carcasses aux États-Unis, par exemple) peuvent également moduler ces parts.

La combinaison des notes de gravité et des taux d'incidence des cas humains attribuables à un aliment donné permet de proposer des notes de risque pour chacun des dangers et de les hiérarchiser. Appliquée aux dangers bactériens transmis par la consommation de viandes d'animaux de boucherie, cette approche identifie le danger *Salmonella enterica* comme constituant, pour les deux types de viandes, le principal risque pour le consommateur, devant *Yersinia enterocolitica* pour la viande porcine et les STEC pour la viande bovine. Les *Campylobacter* spp. thermotolérants apparaissent également comme des dangers constitutifs de risques majeurs dans ces deux filières.

Conclusion

Évaluer quantitativement les risques pour le consommateur constitue un préalable essentiel à la construction de plans de maîtrise des dangers pour le consommateur au sein des filières agro-alimentaires, et permet d'aider les décideurs publics dans leurs choix stratégiques. Ainsi, l'organisation des contrôles officiels doit être basée sur l'analyse des risques, en particulier pour en estimer la fréquence et la priorité, comme le préconise le règlement (CE) 882/2004 (12). La présente étude ne constitue qu'une première approche quantitative pour une évaluation des risques et leur hiérarchisation relative. L'objectivation de la gravité des signes cliniques induits par un danger donné constitue un élément clef à prendre en considération dans cette évaluation. La méthode proposée permet d'apporter des éléments de hiérarchisation des dangers en fonction de cette gravité. Le calcul de parts alimentaires attribuables permet de contribuer à l'évaluation spécifique de l'exposition de l'homme à un danger donné par la consommation d'un aliment donné.

La méthode proposée permet donc de positionner relativement les différents dangers et d'apporter ainsi une aide à la décision aux acteurs des filières agro-alimentaires concernées. Elle est transposable aux autres dangers transmis à l'homme par d'autres catégories d'aliments.

Remerciements

Les auteurs remercient la Direction générale de l'alimentation (DGAL) du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche français pour le soutien apporté à ce travail. ■

Prioritising the risk of foodborne zoonoses using a quantitative approach: application to foodborne bacterial hazards in pork and beef

J. Fosse, H. Seegers & C. Magras

Summary

Foodborne zoonoses are a major public health concern. Risk analysis, which underpins international policies on food safety and trade in foodstuffs of animal origin, requires that an assessment be made of the occurrence and severity of human cases for each type of foodstuff. However, the tools currently available for quantifying risks are only capable of estimating the consequences of certain diseases. This article proposes an alternative quantitative approach for prioritising the risk of foodborne zoonoses, based on the creation of a typology of hazards and calculating a risk score. A combination of average hospitalisation and mortality rates is used to quantify the severity of human cases. By calculating the percentage of food-associated cases it is possible to estimate the incidence of cases linked specifically with the foodstuff being assessed. This method is illustrated by applying it to bacterial zoonotic hazards in pork and beef and provides a support tool for veterinary public health decision-makers.

Keywords

Cattle – Foodborne zoonosis – Meat – Percentage of food-associated cases – Pig – Quantitative risk assessment. ■

Método cuantitativo para jerarquizar los riesgos de zoonosis alimentaria. Aplicación a las afecciones bacterianas transmitidas por carne porcina y bovina

J. Fosse, H. Seegers & C. Magras

Resumen

Las zoonosis de origen alimentario son una de las grandes preocupaciones de salud pública. Para el análisis de riesgos, fundamento de las políticas internacionales relativas a la seguridad sanitaria y a los intercambios comerciales de productos de origen animal, es preciso evaluar la gravedad y

frecuencia de los casos de enfermedad en el ser humano por cada alimento. Las herramientas de cuantificación de riesgos hoy por hoy existentes sirven sólo para estimar las consecuencias de ciertas afecciones. Los autores proponen un método cuantitativo alternativo de jerarquización de los riesgos de zoonosis de origen alimentario, basado en la confección de una tipología de los peligros y en el cálculo de una "puntuación" de riesgo. Para cuantificar la gravedad de los casos que afectan a seres humanos se combinan los índices promedio de hospitalización y de letalidad. El cálculo de la parte alimentaria permite estimar la incidencia de casos ligados específicamente al alimento de que se trate. Este método, ejemplificado con una aplicación a la pareja "peligros zoonóticos bacterianos – carnes porcinas y bovinas", constituye una herramienta de ayuda a la adopción de decisiones en materia de salud pública veterinaria.

Palabras clave

Bovino – Carne – Cerdo – Evaluación cuantitativa de riesgos – Parte alimentaria atribuible – Zoonosis de origen alimentario.



Bibliographie

1. Adak G.K., Long S.M. & O'Brien S.J. (2002). – Trends in indigenous foodborne disease and deaths, England and Wales: 1992 to 2000. *Gut*, **51**, 832-841.
2. Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) (2006). – Trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and antimicrobial resistance in the European Union in 2004. EFSA, Parme, 183 pp. Page web : http://www.efsa.europa.eu/science/monitoring_zoonoses/reports/1277_fr.html (consultée le 28 septembre 2006).
3. Batz M.B., Doyle M.P., Morris J.G., Painter J., Singh R., Tauxe R.V., Taylor M.R. & Lo Fo Wong D.M.A. (2005). – Attributing illness to food. *Emerg. infect. Dis.*, **11**, 993-999.
4. Bean N.H., Griffin P.M., Goulding J.S. & Ivey C.B. (1990). – Foodborne disease outbreaks, 5-year summary, 1983-1987. *Morb. Mortal. weekly Rep. Surveill. Summ.*, **39**, 15-23.
5. Broome J. (1993). – QALYs. *J. public Econ.*, **50**, 149-167.
6. Brown M. (2002). – Hazard identification. In *Microbiological risk assessment in food processing* (M. Brown & M. Stringer, édit.). TJ International, Padstow, 64-76.
7. Bryan F.L. (1992). – Hazard Analysis Critical Control Point evaluations. A guide to identifying hazards and assessing risks associated with food preparation and storage. Organisation mondiale de la santé (OMS), Genève.
8. Codex alimentarius (1999). – Principes et directives régissant la conduite de l'évaluation des risques microbiologiques. Page web : http://www.codexalimentarius.net/download/standards/357/CXG_030f.pdf (consultée le 10 janvier 2007).
9. Collins J.D. & Wall P.G. (2004). – Food safety and animal production systems: controlling zoonoses at farm level. In *Zoonoses et agents pathogènes émergents importants pour la santé publique* (L.J. King, édit.). *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, **23** (2), 685-700.
10. Commission européenne, Direction générale de la santé et de la protection des consommateurs (2000). – Opinion of the Scientific Committee on veterinary measures relating to public health on food-borne zoonoses: 12 april 2000. Page web : http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scv/out32_en.pdf (consultée le 10 janvier 2007).

11. Communautés européennes (2002). – Règlement (CE) n° 178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires. *J. off. Communautés eur.*, **L 31**, 1-24.
12. Communautés européennes (2004). – Règlement (CE) n° 882/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 relatif aux contrôles officiels effectués pour s'assurer de la conformité avec la législation sur les aliments pour animaux et les denrées alimentaires et avec les dispositions relatives à la santé animale et au bien-être des animaux. *J. off. Communautés eur.*, **L 165**, 1-141.
13. Dansk Zoonosecenter (2001). – Annual Report on Zoonoses in Denmark 2000. Page web : http://www.vet.dtu.dk/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=Files%2Ffiler%2FZoonosecenter%2FPublikationer%2FAnnual+Report%2FAnnual_report_2000_fra_Datagraf.pdf (consultée le 9 juin 2006).
14. De Waal C.S., Barlow K., Alderton L. & Jacobson M.F. (2001). – Outbreak alert! Closing the gap in our Federal Food-Safety Net. Washington, DC, Center for Science in the Public Interest (CSPI), 48 pp. Page web : http://www.cspinet.org/reports/oa_2001.pdf (consultée le 3 mai 2007).
15. Fosse J., Cappelier J.-M., Laroche M., Fradin N., Giraudet K. & Magras C. (2006). – Viandes bovines : une analyse des dangers biologiques pour le consommateur appliquée à l'abattoir. In XIII^e Rencontres recherches ruminants, 6-7 décembre, Paris, 411-414.
16. Fosse J. & Magras C. (2004). – Dangers biologiques et consommation des viandes. Lavoisier, Paris.
17. Fosse J., Magras C. & Seegers H. (2007). – Évaluation quantitative des risques biologiques pour le consommateur de viande de porc. *J. Rech. porcine*, **39**, 207-214.
18. Fosse J., Seegers H. & Magras C. (2008). – Foodborne zoonoses due to meat: a quantitative approach for a comparative risk assessment applied to pig slaughtering in Europe. *Vet. Res.*, **39**, 01.
19. Fox-Rushby J. & Hanson K. (2001). – Calculating and presenting disability adjusted life years (DALYs) in cost effectiveness analysis. *Hlth Policy Planning*, **16**, 326-331.
20. Gerba C., Rose J.B. & Haas C.N. (1996). – Sensitive populations: who is at the greatest risk? *Int. J. Food Microbiol.*, **30**, 113-123.
21. Haeghebaert S., Carlier J.-P. & Popoff M. (2003). – Caractéristiques épidémiologiques du botulisme humain en France, en 2001 et 2002. *Bull. épidémiol. hebdo.*, **29**, 129-130.
22. Haeghebaert S., Le Querrec F., Bouvet P., Gally A., Espie E. & Vaillant V. (2002). – Les toxi-infections alimentaires collectives en France en 2001. *Bull. épidémiol. hebdo.*, **50**, 249-253.
23. Hald T., Vose D., Wegener H.C. & Koupeev T. (2004). – A Bayesian approach to quantify the contribution of animal-food sources to human salmonellosis. *Risk Analysis*, **24**, 255-269.
24. Henson S.J., Caswell J.A., Cranfield J.A.L., Fazil A., Davidson V.J., Anders S.M. & Schmidt C. (2007). – A multi-factorial risk prioritization framework for food-borne pathogens. Department of Economics Working Paper 2007-2008. Université du Massachussets, Amherst, 44 pp. Page web : <http://people.umass.edu/resec/workingpapers/index.shtml> (consultée le 15 octobre 2007).
25. Hoffmann S., Fischbeck P., Krupnick A. & MacWilliams M. (2006). – Attributing foodborne illnesses to their food sources using large expert panels to capture variability in expert judgment. Resources for the Future, Washington, DC, 40 pp. Page web : <http://www.rff.org/RFF/Documents/RFF-DP-06-17-REV.pdf> (consultée le 27 mai 2006).
26. Homedes N. (1995). – The disability-adjusted life year (DALY) definition, measurement and potential use. Human Capital Development and Operations Policy Working Papers, no. 68. Banque mondiale, Washington. Page web : <http://go.worldbank.org/QLEG9DABE2> (consultée le 21 août 2006).
27. Käferstein F. & Abdussalam M. (1999). – Food safety in the 21st Century. *Bull. WHO*, **77**, 347-351.
28. Lammerding A.M. & Fazil A. (2000). – Hazard identification and exposure assessment for microbial food safety risk assessment. *Int. J. Food Microbiol.*, **58**, 147-157.
29. Magalhaes J. (2004). – Accord SPS : quel bilan 10 ans après ? *Bull. Acad. vét. Fr.*, **157** (3), 79-85.
30. Marris C. (2005). – La hiérarchisation des risques est-elle possible ? In Risques et crises alimentaires (C. Lahellec, édit.). Paris, Lavoisier, 415-430.
31. Maudoux J.-P., Saegerman C., Rettigner C., Houins G., Van Huffel X. & Berkvens D. (2006). – Food safety surveillance through a risk based control programme: approach employed by the Belgian Federal Agency for the safety of the food chain. *Vet. Q.*, **28** (4), 140-154.
32. Mead P.S., Slutsker L., Dietz V., Mac Caig L.F., Bresee J.S., Shapiro C., Griffin P.M. & Tauxe R.V. (1999). – Food-related illness and death in the United States. *Emerg. infect. Dis.*, **5**, 607-625.
33. Murray C.J.L. & Acharya A.K. (1997). – Understanding DALYs. *J. Hlth Econ.*, **16**, 703-730.
34. Olsen S.J., MacKinnon L.C., Goulding J.S., Bean N.H. & Slutsker L. (2000). – Surveillance for foodborne diseases outbreaks – United States, 1993-1997. *Morb. Mortal. weekly Rep. Surveill. Summ.*, **49**, 1-64.
35. Organisation mondiale de la santé (OMS) (2002). – Global Burden of Diseases estimates. OMS, Genève. Page web : <http://www.who.int/entity/healthinfo/statistics/bodgbddeathdalyestimates.xls> (consultée le 18 décembre 2006).

36. Organisation mondiale de la santé (OMS) (2002). – La stratégie mondiale de l'OMS pour la salubrité des aliments. OMS, Genève.
37. Organisation mondiale de la santé (OMS) (2007). – WHO consultation to develop a strategy to estimate the global burden of foodborne diseases, 25-27 septembre 2006. OMS, Genève. Page web : http://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne_disease/burden_sept06/en (consultée le 19 avril 2007).
38. Prieto L. & Sacristan J.A. (2003). – Problems and solutions in calculating quality-adjusted life years (QALYs). *Hlth Qual. Life Outcomes*, **1**, 80-88.
39. Prunaux O. & Pene C. (2004). – Bilan et réflexions à propos de la mise en œuvre de l'Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires de l'Organisation mondiale du commerce : l'exemple de la France. *Bull. Acad. vét. Fr.*, **157** (3), 87-93.
40. Roberts T. (1989). – Human illness costs of foodborne bacteria. *Am. J. agric. Econ.*, **71**, 468-474.
41. Rocourt J. (1996). – Coûts des infections bactériennes transmises par les aliments dans les pays industrialisés. ASEPT, Laval.
42. Rocourt J., Moy G., Vierk K. & Schlundt J. (2003). – The present state of foodborne disease in OECD countries. Organisation mondiale de la santé (OMS), Service de sécurité sanitaire des aliments, Genève, 39 pp.
43. Sanaa M. & Cerf O. (2002). – La démarche d'analyse quantitative des risques de maladies infectieuses transmises par les aliments. *Épidémiol. Santé anim.*, **41**, 157-168.
44. Sassi F. (2006). – Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations. *Hlth Policy Planning*, **21**, 402-408.
45. Schlundt J., Toyofuku H., Jansen J. & Herbst S.A. (2004). – Emerging food-borne zoonoses. In *Zoonoses et agents pathogènes émergents importants pour la santé publique* (L.J. King, édit.). *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, **23** (2), 513-533.
46. Schmidt K. & Gervelmeyer A. (2003). – WHO surveillance programme for control of foodborne infections and intoxications in Europe. 8th report 1999-2000. Organisation mondiale de la santé (OMS), Genève. Page web : http://www.bfr.bund.de/internet/8threport/8threp_fr.htm (consultée le 23 mai 2006).
47. Singer R.S., Cox L.A. Jr, Dickson J.S., Hurd H.S., Phillips I. & Miller G.Y. (2007). – Modeling the relationship between food animal health and human foodborne illness. *Prev. vet. Med.*, **79**, 186-203.
48. Sockett P.N., Cowden J.M., Le Baigue S., Ross D., Adak G.K. & Evans H. (1993). – Foodborne disease surveillance in England and Wales: 1989-1991. *Communic. Dis. Rep. CDR Rev.*, **3**, R 159-174.
49. Thornton H. (1957). – Textbook of meat inspection. Bailliere, Tindall and Cox, Londres.
50. Todd E.C.D. (1989). – Costs of acute bacterial foodborne disease in Canada and the United States. *Int. J. Food Microbiol.*, **9**, 313-326.
51. Vaillant V., De Valk H. & Baron E. (2004). – Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France. Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice. Page web : http://www.invs.sante.fr/publications/2004/inf_origine_alimentaire/inf_origine_alimentaire.pdf (consultée le 23 novembre 2006).
52. Valenciano M. (2002). – Définition des priorités dans le domaine des zoonoses non alimentaires, 2000-2001. Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice. Page web : http://www.invs.sante.fr/publications/2002/def_priorite_zoonoses/index.html (consultée le 23 octobre 2007).
53. Zeckhauser R. & Shepard D.S. (1976). – Where now for saving lives? *Law contemp. Problems*, **40**, 5-45.

